

MAGYAR Geofizika



A MAGYAR GEOFIZIKUSOK EGYESÜLETE FOLYÓIRATA
BUDAPEST, 1975. XVI. ÉVFOLYAM, 1. SZÁM

MAGYAR GEOFIZIKA
a MAGYAR GEOFIZIKUSOK EGYESÜLETE folyóirata

XVI. évfolyam

1. szám

TARTALOMJEGYZÉK

<i>Baráth István – Tóka Jenő:</i> Megemlékezés a magyar–szovjet tudományos-műszaki együttműködés 25. évfordulójáról	1
<i>Csókás János:</i> Szénteleges összlet tektonikai zavarainak kutatása bányavágatból geoelektromos mérésekkel	7
<i>Salát Péter – Drahos Dezső:</i> Felszíni és karottázs elektromágneses szondázások interpretációjának az információelméleten és a lineáris rendszerek elméletén alapuló stratégiája	14
<i>Dankházi Gyula – Verő László:</i> A gerjesztett potenciál-jelenségek analitikus vizsgálata	27
Lapszemle	13
EGYESÜLETI HÍREK	4

MAGYAR GEOFIZIKA

Szerkesztésért felelős: Dr. Sebestyén Károly

[Szerkesztőség címe: 1368 Budapest, Anker köz 1. Telefon: 429-754

Kiadja a „Lapkiadó” Vállalat, 1073 Budapest, Lenin körút 9–11. Telefon: 221–285. Levélcím: 1906 Budapest Pf. 223

Felelős kiadó: Siklósi Norbert igazgató

75.511. Állami Nyomda, Budapest. Felelős vezető: Boskovitz A. Gyula

Terjeszti: MAGYAR GEOFIZIKUSOK EGYESÜLETE

Megjelenik évente hatszor

Megrendelhető egész évre 60,- Ft előfizetési áron, mely összeg a MTE SZ 232–90171–2494
csekk számlájára fizetendő be. Egyesületi tagoknak tagdíj ellenében

Index: 26 507

Megemlékezés a magyar—szovjet tudományos-műszaki együttműködés 25. évfordulójáról

Megemlékezés a magyar—szovjet tudományos-műszaki együttműködés 25. évfordulójáról.

Отмечается 25-летие венгерско-советского научно-технического сотрудничества.

25th Anniversary of the Hungarian—Soviet Scientific-Technical Cooperation.

Magyar—szovjet tudományos-műszaki együttműködés a geofizikában

BARÁTH ISTVÁN*

Magyar—szovjet tudományos-műszaki együttműködés a geofizikában

Венгерско-советское научно-техническое сотрудничество в области геофизики.

Soviet—Hungarian Scientific-Technical Cooperation in Geophysics

A szovjet és magyar geofizikusok kapcsolata régi, időről időre megújuló, tartalmában bővülő és gazdagodó igazi szakmai barátság.

Nem fejlődhetett volna töretlenül, nem lenne ilyen sokoldalú, ha a barátságon túl nem alapulna a kölcsönös előnyökön, valamint azon a felismerésen, hogy a geofizika bármely területén (módszer-, műszerfejlesztés, alkalmazás) csak az erők és elgondolások összehangolása, valamint tudatosan megtervezett távlati tervek alapján lehet komoly eredményt elérni. Törvényszerűen diktálta ezeket a követelményeket az is, hogy a népgazdaság tervszerű, arányos fejlődésének nem kis mértékben meghatározója az ásványi nyersanyag-források feltárása, amelyek kutatásában egyre jelentősebb szerepet kap a geofizika.

A szovjet—magyar tudományos-műszaki együttműködés igen komoly tartalmi fejlődésen ment át az elmúlt 25 év alatt,

Mi jellemezte a kezdeti évek kapcsolatait? Elsősorban egyediek voltak, néhány szakember helyes felismerésén és személyes kapcsolatán alapultak.

Elősegítette ezt a mind nagyobb számban és egyre több alkalommal meghívott szovjet szakértői gárda működése, amely végeredményben egy-egy feladatra és vállalatra, vagy intézményre korlátozódott.

Tekintettel arra, hogy a fentiek általában kritikus, lényeges döntések előtti helyzetekben következtek be, így a szovjet szakértők szerepe már abban az időben (1950-es évek) is jelentős volt, de eléggé egyoldalú, azaz segítségnyújtás jellegű volt.

Ezek közül az uránipari geofizikai munkák megindítását, ott egy új szakgárda kinevelését, valamint a szénhidrogénkutatások újraindítását és megalapozását kell kiemelni.

* Baráth István, Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, Budapest.

Fentiek mellett új, s mélyebb kapcsolatot teremtett a Szovjetunióban tanult geofizikus mérnökök bekapcsolása a hazai geofizikai kutatásokba. Ez szükségképpen nemcsak a szovjet tudomány eredményeinek széles körű hazai alkalmazását (adaptálását) jelentette, hanem a volt diákok kapcsolatai (egyetemi, kutatóintézeti és üzemi) is megmaradtak, s így még jobban kiszélesedtek a szovjet – magyar geofizikai kapcsolatok. Rendszeresebbé váltak a tanulmányutak, egyre kisebb problémát jelentettek a nyelvi nehézségek.

Minőségileg újat hozott a geofizikai tudományos-műszaki együttműködés terén az, hogy a KGST Földtani Állandó Bizottsága (FÁB) 1963. október 25 – 28-i alakuló ülésével** a szocialista országok olyan fóruma alakult, amely igen komoly életteret adott a többoldalú kapcsolatoknak, s a fejlődés meghatározott stádiumában a kétoldalú kapcsolatok kibontakozásának.

A FÁB kezdettől fogva fontos szerepet tulajdonított valamennyi geofizikai kérdésnek, amely a földtani kutatást hatékonyabbá teszi és meggyorsítja.

Elfogadásra került:

- a geofizikai műszerek nómenklatúrája;
- a KGST országokban gyártott műszerek első katalógusa, amelyet 1967-ben szép kiállítású, gazdagon illusztrált geofizikai műszerkatalógus követett;
- a geofizikai műszerek értékskálája, hat kategóriába sorolva.

Az egyes szakterületek koordinálását négy témavezető országra bízta.

A kiemelt fő szakterületek:

1. Szeizmikus műszer- és módszerkutatások.
2. Gravitációs és mágneses műszer- és módszerkutatások.
3. Geoelektromos műszer- és módszerkutatások.
4. Mélyfúrási geofizikai műszer- és módszerkutatások.

Elismerést, de a legnehezebb munkát is jelentette a szovjet és magyar félnek, hogy a geofizika két legfontosabb területén (1., 4. pont) koordinátorok lettek.

Ez a körülmény is hozzájárult ahhoz, hogy a két ország geofizikai kapcsolata még szervezettebben elmélyüljön mint eddig, ami igen hasznosan egészült ki a geoelektromos kutatások területén kiépített együttműködéssel.

Jelentős szerepet játszott országaink geofizikusainak szoros együttműködése abban is, hogy a geofizika területén a KGST országok műszerfejlesztési terveiket már nem véletlenszerűen igazítják egymáshoz, hanem ötéves fejlesztési programjaikat alakítják úgy, hogy figyelmüket és pénzügyi lehetőségeiket a legfontosabb geofizikai eszközökre koncentrálják.

A KGST országok első ilyen összehangolt műszerfejlesztési ötéves tervét a FÁB hagyta jóvá.

** Megalakulása előtt geofizikai módszer- és műszerfejlesztés kérdéseivel a Földtani Szolgálatok Vezetőinek tanácskozásain, valamint a KGST Kőolaj és Gázipari Állandó Bizottságában foglalkoztak. Ez utóbbi ma is foglalkozik olajipari geofizikai problémákkal.

A *FÁB* elfogadta:

- a világszínvonalnak megfelelő (vagy ahhoz közel álló) műszaki-gazdasági követelményekkel specifikált geofizikai műszerek „*Parametrikus sorát...*”;
- a geofizikai műszerek pontosított nomenklatúráját;
- az egyes geofizikai berendezéseket jellemző műszaki adatok jegyzékét, műszercsoportonként.

A „*Parametrikus sor...*” magában foglalta

- a fejlesztés alatt levő berendezés megnevezését;
- a berendezést jellemző magas színvonalú műszaki adatokat;
- a fejlesztésben résztvevő országok megnevezését;
- határidőket, valamint azoknak a műszereknek a típusjeleit, amelyek figyelembevételével (vagy alapján) a fejlesztés folyt.

A „*Parametrikus sorral*” kapcsolatban meg kell jegyezni, hogy a mintegy 111, fejlesztés alatt levő berendezés igen jelentős erőmegoszlást igényelt, s egy-egy berendezés-típuson több országban dolgoztak.

Igaz, hogy a Szovjetunió minden típusú és szakágazatnak szükséges berendezést fejleszt, de ilyekeznek ezt a többi országok is követni. Ennek magyarázata nyilvánvalóan az, hogy a Szovjetunió nem bízhatja a véletlenre geofizikai eszközszükségletét, s így fejlesztési szinten érthető álláspontja. Gyártásnál már – amennyiben egy adott területen lényegesen jobb fejlesztési eredményekkel rendelkező szocialista ország van – célszerű az adott berendezést néhány darabos megrendelés kipróbálása után nagy szériában a Szovjetuniónak gyártani, vagy megvásárolni a fejlesztést.

A többi országoknál néhány alapvető és perspektivikus berendezés kivételével – amelyeknek fejlesztése elengedhetetlen – elsősorban hagyományt jelentő berendezések fejlesztésével foglalkoznak, vagy „*amit tudunk csinálunk*” elv uralkodik „*legfeljebb saját használatra*” magyarázattal.

Ezen a helyzeten lényeges változást hozott az új ötéves terv és az erre az időszakra szóló „*Parametrikus sor...*”, amelyben a digitális technika térhódítását figyelhetjük meg. Ezt a parametrikus sort az is jellemzi, hogy tanulva az elmúlt évek tapasztalatain – éppen szovjet és magyar kezdeményezésre –:

- pontosabban szabták meg a geofizikai műszerfejlesztés alapvető irányvonalát az 1971–75. időszakra;
- fejlesztési szinten nagyobb specializálódás valósult meg, s a párhuzamos fejlesztéseket a minimálisra csökkentették;
- hatékonyabban megvalósultak a többoldalú és kétoldalú együttműködések különböző formái.

Így lehet elérni azt, hogy közös erőfeszítések útján világszínvonalú geofizikai berendezések fejlesztési időtartamát a minimumra csökkentsük.

Módszertani vonatkozásban is kibontakoztak azok a sokoldalú kapcsolatok, amelyek a KGST országok egységes szemléletű munkáihoz vezettek. Az egyik legjelentősebb állomás ennek a geofizikai tárképszerkesztési és jelölési alapelvekről szóló megállapodás.

A geofizikai térképösszeállítási instrukció kiterjed a különböző léptékű gravitációs, mágneses és geoelektromos térképek szerkesztésénél alkalmazandó szabályokra. Ugyanakkor megbízást kapott az NDK delegációja a komplex geofizikai térképek metodikájának összeállítására.

A metodikai kutatások területén az alapvető tennivalókat és a továbbfejlesztés irányait rögzíti egy későbbi összefoglaló.

Az egyik legfontosabb, hosszú távra tervezett módszertani együttműködés alapelveit, dokumentumait „*A geofizikai adatok számítógépes feldolgozása és értelmezése*” című jegyzőkönyv foglalja össze.

Ezeket a tanácskozásokat – szakértői szinten – kétévenként egyszer rendezik, ahol alapvetően – a kölcsönös információn túl – elsősorban az a cél, hogy egyes geofizikai számítógépes adatfeldolgozási rendszert hozzanak létre valamennyi szakágazatban.

Alapvető problémát jelent ezen a téren, hogy a különböző országokban a legkülönbözőbb típusú számítógépeket alkalmazzák. Ezen nehéz egyenlőre változtatni, mert már valamennyi szocialista ország rendelkezik számítógéppel a geofizikában, de ez még országokon belül is többféle. Ezek felváltása az anyagi fedezeten túl nehéz szervezési problémát is jelent.

A KGST talaján nőtt és fejlődött ki a szovjet – magyar geofizikai tudományos együttműködés sokoldalú lehetősége.

Ezek a kapcsolatok meggyorsultak azért, mert elég sokszor egy-egy KGST témában érdekeltséget csak országaink jelentettek be, s így ez az intézmények közvetlen kapcsolatához vezetett.

Másrészt mindkét fél érezte szükségességét – és kölcsönös előnyét – annak, hogy a legfontosabb kutatási témákat kétoldalú együttműködési szerződéssel emeljék rangra, s e téren a kapcsolatokat rendszeressé tegyék.

Az elmúlt években a legfontosabb együttműködési témák az alábbiak voltak:

- nagymélységű fúrások (7000 m) gamma-spektrometriájánál végzett radioaktív karottázs hőállósági problémájának megoldása, valamint a karottázs-berendezések fúrási és felszíni egységei közötti sokcsatornás változtatának kidolgozása.
- Ultramély fúrások elektromos karottálásának módszerei és berendezései.
- Ipari geofizikai adatok regisztrálásának, tárolásának és feldolgozásának automatizált rendszere.
- Radioaktív geofizikai és akusztikai módszerek és műszaki eszközök fejlesztése fúróluk-vizsgálatokhoz produktív kőolaj- és gázrétegek meghatározása céljából, kis ásványi sótartalmú rétegvíz és magas (120–200 °C) átlaghőmérséklet mellett.
- Speciális perifériák kidolgozása az elektronikus számítógépekhez és a terepi digitális szeizmikus műszer továbbfejlesztése.
- Módszer- és műszerfejlesztés a térbeállásos és magnetotellurikus szondázás geoelektromos kutatómódszereihez stb.

Az együttműködés kezdetben alapvetően kölcsönös információcserében (írásban és szakembercsere formában) valósult meg, s jelentőségét az adta, hogy az azonos témán dolgozó szakemberek közvetlen kapcsolatba kerültek, s egy-egy részletkérdést is megvitathattak. Így olyan hasznos konzultációk alakultak ki, amelyek a további fejlesztési munkákat meggyorsította, egyszerűbbé, megnyugtatóbbá tette.

A geofizikai tudományos-műszaki együttműködésben feltétlen új fejezetet nyit az a törekvés, hogy egyes bonyolult műszerek részegységeit az együttmű-

ködő partnerek külön fejlesszék. Például: felszíni mérőegység magyar fejlesztés, míg a kombinált lyukműszer (alacsony frekvenciás akusztikus és az impulzusüzemű lyukneutrongenerátor) szovjet fejlesztés.

E munka teljes komplexitásban folyik, hiszen a szovjet fél által kidolgozott metodika kerül alkalmazásra és továbbfejlesztésre, míg az értelmezés számítógépes megoldását a magyar fél vállalta.

Úgy véljük, hogy a további szovjet – magyar együttműködésnek is ilyen mélységig kell elmenni, s a munkamegosztás e formája hozhat csak a jövőben igazi eredményt.

Ezek a jövő bízató együttműködési formái, amelyben különös jelentőséget és szerepet kap a szovjet – magyar geofizikai együttműködés, hiszen a konkrét feladatok megvalósulása során elmélyül, gazdagabbá válik a 25 évet kiállt barátság.

A magyar – szovjet tudományos-műszaki együttműködés a Mecseki Ércbányászati Vállalatnál

TÓKA JENŐ*

Magyar – szovjet tudományos-műszaki együttműködés a Mecseki Ércbányászati Vállalatnál

Hungarian – Soviet scientific – technical cooperation with the Mecsek Ore Mining Enterprise

Венгерско-советское научно-техническое сотрудничество на Меческом горнорудном предприятии.

A magyar – szovjet tudományos-műszaki együttműködés 25. évfordulóján a Mecseki Ércbányászati Vállalatnál tevékenykedő geofizikusok, geológusok a szovjet kollégáikkal való tevékeny együttműködés 20 évére tekinthetnek vissza. Ebben az együttműködésben a szovjet kollégák a tanítómesterek, a segítőkész bajtárs, a jó munkatárs szerepét egyaránt szívesen vállalták. Minderre a példák sorát lehetne a vállalat tevékenységeinek egész területéről felhozni, most azonban csak a geofizikai vonatkozásokat említem meg, mivel e lap olvasói számára azok a legfontosabbak.

Geofizikai vonalon az együttműködés a vállalat létrejöttét is megelőzte. 1953-ban ugyanis az addigi ismeretek birtokában a magyar kormány a magyar – szovjet műszaki-tudományos együttműködési szerződés alapján felkérte a megfelelő szovjet intézményeket az uránkutatás szempontjából perspektivikus földtani képződmények kijelölésére és azokon átnézetes jellegű uránkutatások elvégzésére. E felkérés nyomán rövidesen egy szovjet szakértő bizottság látogatott Magyarországra és magyar szakemberekkel lefolytatott konzultációk eredményeképpen közösen kijelölték az akkori ismeretek birtokában perspektivikusnak megítélhető területeket. E bizottság egyik tagja L. Cs. Puchalszkij szovjet főgeofizikus, aki a későbbiek folyamán is tevékenyen részt vett a magyar uránkutatás irányvonalának meghatározásában, nemrég kapta meg tisz-

* Tóka Jenő, Mecseki Ércbányászati Vállalat, Pécs.

teletünk jeleként a vállalatunk 20 éves törzsgárda tagjainak kijáró aranygyűrűt.

A kijelölt területeken szovjet szakemberek irányításával légifelvételezés és terepi radiometriai bejárás történt. Ennek eredményeképpen szovjet mérnök, I. Csuprova fedezte fel a Mecsekben azt a radiometriai anomáliát, amelynek továbbkutatásából alakult ki a mecseki lelőhely.

Érthető, hogy ebben az időben (és később sem) a mi egyetemeinken geofizikus szakembereket a speciális radiometriai vizsgálatok elvégzésére és irányítására nem képeztek és a vizsgálatokra alkalmas műszereket sem gyártottunk. A magyar uránipar geofizikai szolgálatát végző szakemberek a szovjet kollégáikkal való együttes munka folyamán sajátították el a szükséges ismereteket, kisebb részük pedig a szovjet egyetemeken tanulta meg a radiometria alapjait. Mindez olyan fokon történt, hogy önálló tevékenységük a Vállalat megalakulása óta töretlenül biztosítja a Vállalat munkáját.

Ahhoz azonban, hogy a kutatási munka hatékonysága a lehető legmagasabb szinten legyen, nem elegendőek az egyszer megszerzett ismeretek és azok gyakorlata. Az ismereteket állandóan bővíteni kellett és ehhez a Szovjetunió tudományos tapasztalata geofizikusaink részére állandóan rendelkezésre állt. A szovjet irodalom adta lehetőségeken túlmenően szakembereink bejárták a Szovjetunió jelentős lelőhelyeit, konzultáltak ott vagy itthon a legjelentősebb szovjet szaktekintélyekkel. Ha kellett, akkor a szovjet szakemberek elsősorban a földtani kutatás vonalán közvetlenül is résztvettek a munkánkban.

Így volt ez 1964-től kezdődően is, amikor V. Tyihomirov, leningrádi főgeofizikus irányításával indult magyar, szovjet szakemberek együttes munkája eredményeképpen valósult meg az ország területe egyharmadának légi spektrometriai felvételzése. Munkájuk elismeréseképpen V. Tyihomirov és N. Püsjev szibériai elsőpilóta a Magyar Földtani Szolgálat Kiváló Dolgozója kitüntetést kapta, munkatársai pedig más elismerésben részesültek. Munkájuk hatékonyságát bizonyítja az a számtalan anomália, amelyet felderítettek, önzetlenségüket pedig a magyar szakemberek gyors betanítása és önálló munkájuk minden oldalú elősegítése.

Lényegében vállalatunknál geofizikus szakembereink a Szovjetunióban kialakult geofizikai technológiai módszereket alkalmazzák. Természetesen az alkalmazás nem zárta és nem zárja ki, hanem inkább megkövetelte és megköveteli ennek a technológiának a körülményekhez való alakítását. E téren szakembereink többször értek el olyan eredményeket, amelyeket a Szovjetunióban is hasonló jellegű tevékenységnél hasznosíthattak.

25 éves a szovjet–magyar műszaki-tudományos együttműködési szerződés és 20 éves egyik legnépszerűbb gyermeke, a magyar uránipar. Remélem, hogy a kiragadott és elsősorban geofizikai tevékenységre vonatkozó példák egyértelműen megmutatták az együttműködés lényegét és magukban foglalják annak további útját.

Széntelepes összlet tektonikai zavarainak kimutatása bányavágatból geoelektromos mérésekkel*

CSÓKÁS JÁNOS**

Széntelepek gépesített művelésének tervezéséhez ismerni kell a telepben levő tektonikai zavarokat, vetőket, kiékelődéseket. Ha a gépesített front előre nem látott tektonikai zavarhoz érkezik, akkor baleset, vízbetörés, elmeddülés következhet be és a fejtőgép kiépítése, valamint a termelés kiesése nagy veszteséget okoz.

Széntelepes összletben tektonikai zavarok kimutatása bányavágatban végzett geoelektromos mérésekkel az összletbe vezetett áram potenciálterének matematikai leírásán alapul a telep és az ágyazó összlet fajlagos ellenállása és a telepvastagság ismeretében az elektródok közötti távolság függvényében, ha a homogén fajlagos ellenállású telepet párhuzamos felületek határolják.

Выявление тектонических нарушений электроразведочными работами в угольных шахтах основывается на математическом описании потенциального поля, создаваемого током, подаваемым на серию угленосных пластов. Отклонения расчетных величин сопротивления от наблюдаемых обусловлены наличием тектонических нарушений. В настоящем докладе излагается потенциальная зависимость, характерная для границ разделов угольных залежей, а также программа для обработки данных на ЭВМ и приводятся примеры.

The detection of tectonic disturbances by means of geoelectrical measurements in coal drifts is based upon the mathematical description of the potential field due to current conducted into the series. If the computed resistance data differ from the measured ones, this originates in tectonic disturbances. This paper presents the potential function existing at the boundaries of the coal-bed and the computer program of the master curves and case histories.

Bevezetés:

Széntelepek gépesített művelésének tervezéséhez ismerni kell a telepben levő tektonikai zavarokat, vetőket, kiékelődéseket, ugyanis, ha a gépesített front előre nem látott tektonikai zavarhoz érkezik, akkor baleset, vízbetörés, elmeddülés következhet be és a fejtőgép kiépítése, valamint a termelés kiesése nagy veszteséget okoz.

Tektonikai zavarok kimutatása vágatban végzett geoelektromos mérésekkel szénbányában tudomásunk szerint eddig nem történt, csak szeizmikus csatornahullámokkal végeztek hasonló célból kísérleteket [1]. Széntelepes összlet tektonikai zavarának kimutatása bányavágatban végzett geoelektromos mérésekkel az összletbe vezetett áram potenciálterének matematikai leírásán alapul a telep és az ágyazó összlet fajlagos ellenállása és a telepvastagság ismeretében az elektródok közötti távolság függvényében, ha a homogén fajlagos ellenállású telepet párhuzamos felületek határolják.

A széntelep és ágyazó összleteinek fajlagos ellenállása előfúrásban végzett bányakarottázzsal, közeli fúrások felszíni karottázs-szelvényeiből és vertikális geoelektromos szondázással (VESZ) meghatározható. A telepvastagság és az elektródok közötti távolság megmérhető. Az említett adatok ismeretében ki lehet számítani azt a potenciálkülönbséget, amelyet egy vágatban a telepbe vezetett áram a szóban forgó vagy a szomszédos vágatokban két pont között zavartalan település esetén létrehoz, és amely megmérhető. A potenciálkülönb-

* Elhangzott 1974. szeptemberben a XIX. Szimpóziumon, Torunban.

** Csókás János; Nehézipari Műszaki Egyetem, Geofizikai Tanszék Miskolc

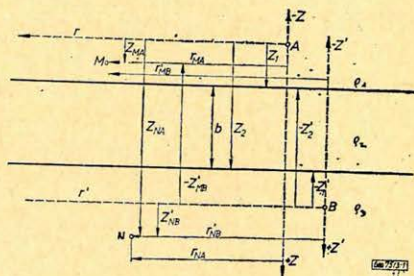
ség és az áramerősség hányadosa az áramkörbe kapcsolt telepes összetétel ellenállásával egyenlő. Ha a számított ellenállás-értékektől a mért adatok eltérnek, azt tektonikai zavarok okozzák.

A széntelephőn levő tektonikai zavarokat, vetőket általában az ágyazó összetétel hasonló jellegű tektonikai zavarai kísérik, ami szintén a számított ellenállás-eloszlás torzulását okozza.

1. Elektromos potenciáltkér széntelepes összetételben

Véges vastagságú, párhuzamos síkokkal határolt rétegből és azt ágyazó két végtelen vastagságú rétegből álló feltérbe ágyazott áramforrás potenciál-függvénye ismert [2].

Ha a fedő, a telep és a fekvő fajlagos ellenállása ρ_1 , ρ_2 és ρ_3 , az ágyazó rétegek végtelen vastagok, a telepvastagság: b , akkor az 1. ábra szerinti elrendezésben az A és B elektródokon bevezetett I áram az M és N potenciál-elektrodok között a következő potenciálkülönbséget hozza létre [2]:



1. ábra. A potenciálfüggvény felírásához
Рис. 1. Запись потенциальной функции
Fig. 1. The electrode array for the description of the potential field

$$\Delta U = (U_M^A - U_N^A) - (U_M^B - U_N^B), \quad (1)$$

ahol U_M^A az A áramelektrod potenciálja az M potenciál-elektrodnál és így tovább értelemszerűen. A [2] alapján felírva kapjuk, hogy:

$$\begin{aligned} \Delta U = & \frac{I \rho_1}{4\pi} \left[\frac{1}{R_{MA}} + k_{21} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(k_{21} k_{23})^n}{\sqrt{(2nb + 2z_1 + z_{MA})^2 + r_{MA}^2}} - \right. \\ & \left. - k_{23} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(k_{21} k_{23})^n}{\sqrt{(2nb + 2z_2 - z_{MA})^2 + r_{MA}^2}} \right] - \\ & - \frac{I \rho_1}{4\pi} (1 + k_{21}) (1 - k_{21}) \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(k_{21} k_{23})^n}{\sqrt{(2nb + z_{NA})^2 + r_{NA}^2}} - \\ & - \frac{I \rho_3}{4\pi} (1 - k_{21}) (1 + k_{23}) \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(k_{21} k_{23})^n}{\sqrt{(2nb - z'_{MB})^2 + r_{MB}^2}} + \\ & + \frac{I \rho_3}{4\pi} \left[\frac{1}{R_{NB}} + k_{23} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(k_{21} k_{23})^n}{\sqrt{(2nb - 2z'_1 + z'_{NB})^2 + r_{NB}^2}} - k_{21} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(k_{21} k_{23})^n}{\sqrt{(2nb - 2z'_2 + z'_{NB})^2 + r_{NB}^2}} \right], \end{aligned} \quad (2)$$

melyben $R_{MA}^2 = z_{MA}^2 + r_{MA}^2$, továbbá z_1 a ρ_1 fajlagos ellenállású közegben levő A elektród távolsága a teleptől, z_2 pedig a ρ_3 fajlagos ellenállású közegtől, $(z_{MA}; r_{MA})$ és $(z_{NA}; r_{NA})$ az M , illetve az N potenciál-elektrodok hengerkoordinátái a $(z; r)$ rendszerben, melynek origója az A pontban van. Hasonlóan $R_{NB}^2 = z_{NB}^2 + r_{NB}^2$, z , a ρ_3 fajlagos ellenállású közegben levő B elektród

távolsága a teleptől, z'_2 pedig a ϱ_1 fajlagos ellenállású közegetől. (z'_{MB} ; r'_{MB}) és (z'_{NB} ; r'_{NB}) az M , illetve N elektródok hengerkoordinátái a (z' ; r') rendszerben, melynek origója a B pontban van. A fajlagos ellenállás-kontrasztok: $k_{ij} = (\varrho_i - \varrho_j)/(\varrho_i + \varrho_j)$, ahol $i, j = 1, 2, 3$.

A potenciál-eloszlás kiszámítása és a bányatérsejben elvégezhető mérések szempontjából legegyszerűbb elektród-elrendezésnél mind az A és B áramelektrodok, mind az M és N potenciál-elektrodok a telepet az ágyazó összlettől elválasztó két határfelületen helyezkednek el equatoriális dipól-elrendezésben a 2. ábra szerint.

Ha az áram- és a potenciáldipól elektródjai a széntelep határain azokra merőleges egyenes mentén ugyanabban, vagy két különböző vágatban helyezkednek el a dipólok közötti távolság r , akkor $R_{MA} = R_{NB} = r_{MA} = r_{NA} = r'_{MB} = r'_{NB} = r$, továbbá $z_{MA} = z_{NB} = z_1 = z'_1 = 0$, és $z_2 = z_{NA} = b$, valamint $z'_2 = z'_{MB} = -b$.

Tehát

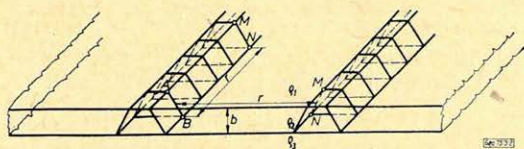
$$\begin{aligned} \Delta U = & \frac{I \varrho_1}{4\pi} \left[\frac{1}{r} + k_{21} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(k_{21} k_{23})^n}{\sqrt{(2nb)^2 + r^2}} - k_{23} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(k_{21} k_{23})^n}{\sqrt{(2nb + 2b)^2 + r^2}} \right] - \\ & - \frac{I \varrho_1}{4\pi} (1 + k_{21}) (1 - k_{23}) \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(k_{21} k_{23})^n}{\sqrt{(2nb + b)^2 + r^2}} - \\ & - \frac{I \varrho_3}{4\pi} (1 - k_{21}) (1 + k_{23}) \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(k_{21} k_{23})^n}{\sqrt{(2nb + b)^2 + r^2}} + \\ & + \frac{I \varrho_3}{4\pi} \left[\frac{1}{r} + k_{23} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(k_{21} k_{23})^n}{\sqrt{(2nb)^2 + r^2}} - k_{21} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(k_{21} k_{23})^n}{\sqrt{(2nb + 2b)^2 + r^2}} \right]. \end{aligned}$$

Az egyenletben levő tagok megfelelő csoportosítása és átrendezése után írható, hogy:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta U}{I} = & \frac{\varrho_1 + \varrho_3}{4\pi r} \left\{ 1 + \frac{\varrho_1 k_{21} + \varrho_3 k_{23}}{\varrho_1 + \varrho_3} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(k_{21} k_{23})^n \frac{r}{b}}{\left[4n^2 + \frac{r^2}{b^2} \right]^{1/2}} - \right. \\ & - \frac{\varrho_1 k_{23} + \varrho_3 k_{21}}{\varrho_1 + \varrho_3} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(k_{21} k_{23})^n \frac{r}{b}}{\left[4(n+1)^2 + \frac{r^2}{b^2} \right]^{1/2}} - \\ & \left. - [(1 - k_{21} k_{23}) + k_{13} (k_{21} - k_{23})] \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(k_{21} k_{23})^n \frac{r}{b}}{\left[4 \left(n + \frac{1}{2} \right)^2 + \frac{r^2}{b^2} \right]^{1/2}} \right\}. \quad (4) \end{aligned}$$

A (4) egyenlet segítségével tehát kiszámítható a b vastagságú és ϱ_2 fajlagos ellenállású homogén széntelep és a ϱ_1 , ill. ϱ_3 fajlagos ellenállású ágyazó összeletének $\Delta U/I$ ohm ellenállása a telephatárokon elhelyezett equatoriális dipól-elrendezés esetére az r dipóltávolság függvényében. Ugyanez az összefüggés

bányavágatokban végzett geoelektromos mérésekkel is meghatározható. A számított és a mért értékek eltérése a telepben és az ágyazó összletben elhelyezkedő tektonikai vagy rétegtani eredetű, esetleg régi műveléssel létrehozott zavart jelent.



2. ábra. Equatoriális dipól-elrendezés vágatokban

Рис. 2. Экваториально-дипольная установка в горных выработках

Fig. 2. Dipole-array in the drifts

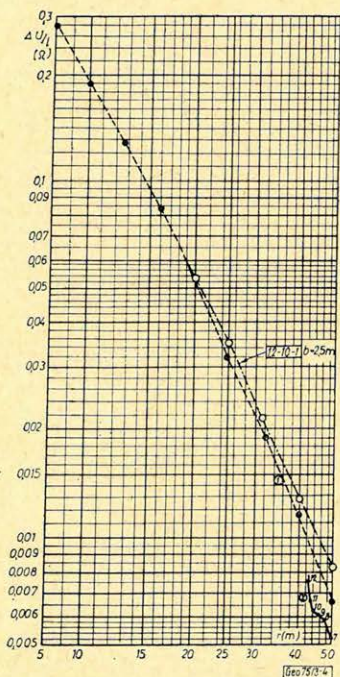
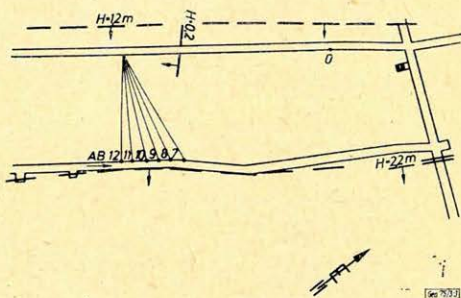
2. Gyakorlati példák.

A [4] egyenlettel leírt összefüggés gyakorlati ellenőrzése a Borsodi Szénbányák Rudolf-telep IV. akna, IV. telep 12. sz. front-alapvágatban és annak keleti légvágatában történt [3]. A két mérés elektród-elrendezését a 3. ábrán látható bányatérkép mutatja.

3. ábra. Bányatérkép a mérések elektród-elrendezésével

Рис. 3. Карта с установками электродов, применявшимися при исследовании

Fig. 3. The electrode array in the drifts



4. ábra. A mért eredmények és az elméleti görbe illesztése

Рис. 4. Сопоставление полученных результатов с теоретической кривой
Fig. 4. The graphs showing the fitting of the measured resistance values to the master curve

Az egyik mérést a 12. sz. vágatban dipól-elrendezéssel végeztük úgy, hogy az MN potenciál-dipól a 0 pontban volt, az AB áram-dipól attól a szokásos Schlumberger-terítésnek megfelelő lépésben távolodott a 9. sz. vágattól ellentétes irányban $r = 3 \text{ m}$ -től 50 m -ig. A dipólok a vágat keleti oldalán helyezkedtek el. A széntelepek vastagsága a 0 pontban $2,43 \text{ m}$.

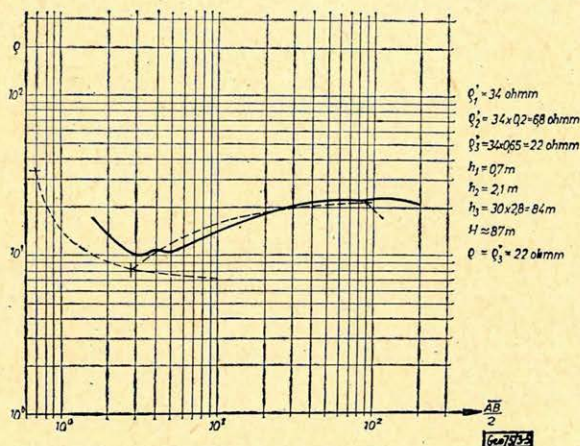
A mérési adatokból nyert $\Delta U/I = f(r)$ összefüggés (1. görbe) a 4. ábrán látható az 1,2-10-1; b. 2 2,5 m paraméterű elméleti görbéhez illesztve. A két görbe nagy része, $r = 8 - 20 \text{ m}$ között, jól illeszkedik egymásra, ami az elméletileg felállított (4) egyenlet által leírt összefüggést kísérletileg igazolja.

A mért görbe végső szakaszánál, $r = 20 - 50 \text{ m}$ között jelentkező elválást a vágattal párhuzamosan a Ny-i oldalon, tőle kb. 10 m -re húzódó vezetőzóna ellenállás-csökkentő hatása okozza.

A második mérésnél a potenciál-dipól a 12. sz. vágatban, az áramdipól a keleti légvágatban helyezkedett el a 3. ábrán látható pontokban. A mért görbe pontjai (2. görbe) alacsonyabb értékűek, mint az elméleti görbe megfelelő szakasza. Az ellenállás-csökkenés oka a légvágat keleti oldalához igen közel húzódó vezetőzóna, ugyanis egyrészt a nagy ellenállású széntelep szakadása a vezetőzónában, másrészt az agyagos kis ellenállású fedő és fekvő összlet közvetlen érintkezése lecsökkenti a dipóláramkör ellenállást. A mért 2. görbe legnagyobb csökkenése a 10. pontnál látható, ugyanis a légvágat és a vezetőzóna közötti távolság itt a legkisebb, továbbá ezen terítés áramterének foglalja el a legnagyobb részét a vezetőzóna.

A fentiek alapján megállapítható, hogy széntelep-es összlet tektonikai zavarai bányavágatban végzett geoelektromos mérésekkel kimutathatók.

A fedőösszlet fajlagos ellenállása vertikális elektromos szondázással (5. ábra) meghatározva: ($\varrho_{fedő} = \varrho_1 = 22,0$ ohmm-nek vehető. A 4. ábrán látható elméleti görbe paraméterei és a mért görbével való illesztés szerint $\varrho_1 = 22,8$ ohmm. A széntelep fajlagos ellenállása tehát $\varrho_2 = 190,0$ ohmm, a fekvőösszleté pedig $\varrho_3 = 19,0$ ohmm.



5. ábra. Vertikális elektromos szondázási görbe

Рис. 5. Кривая вертикального электрического зондирования

Fig. 5. Interpretation of vertical electrical sounding

Függelék

I.

A (3) egyenlet szummás tagjai közül az azonos nevezővel rendelkezőket összevonva a (4) egyenlet harmadik szummás tagja előtti tényező a következő átalakítással nyerhető:

$$\begin{aligned}
 & [\varrho_1(1+k_{21})(1-k_{23}) + \varrho_3(1-k_{21})(1+k_{23})] = \\
 & = \varrho_1 - \varrho_1 k_{23} + \varrho_1 k_{21} - \varrho_1 k_{21} k_{23} + \varrho_3 + \varrho_3 k_{23} - \varrho_3 k_{21} - \varrho_3 k_{21} k_{23} = \\
 & = \varrho_1 + \varrho_3 - (\varrho_1 + \varrho_3) k_{21} k_{23} + (\varrho_1 - \varrho_3) (k_{21} - k_{23}) =
 \end{aligned}$$

$$= (\varrho_1 + \varrho_3) (1 - k_{21} k_{23}) + (\varrho_1 - \varrho_3) \frac{\varrho_1 + \varrho_3}{\varrho_1 + \varrho_3} (k_{21} - k_{23}) =$$

$$= (\varrho_1 + \varrho_3) [(1 - k_{21} k_{23}) + k_{13}(k_{21} - k_{23})]$$

II.

A 4. ábrán látható elméleti görbe számítása a (4) egyenlet alapján számítógéppel Fortran IV. nyelven az alábbi program szerint történt. A szummák alatti tagok számlálóját és nevezőjét r/b -vel osztva.

Program

```

MASTER DIPOL
REAL K21, K23, K13, K
DIMENSION RO (3,10), A (22), RI (22)
READ (1,1) RO
1  FORMAT (30FO.0)
   DO 10 N = 1,10
      K21 = (RO(2,N) - RO(1,N))/(RO(2,N) + RO(1,N))
      K23 = (RO(2,N) - RO(3,N))/(RO(3,N) + RO(2,N))
      K13 = (RO(1,N) - RO(3,N))/(RO(1,N) + RO(3,N))
      K = K21*K23
      SZ1 = (K21*RO(1,N) + K23*RO(3,N))/(RO(1,N) + RO(3,N))
      SZ2 = (K21*RO(3,N) + K23*RO(1,N))/(RO(1,N) + RO(3,N))
      SZ3 = K13*(K21 - K23) + 1.0 - K
      B = 0.7
      DO 11 L = 1,11
         R = 1.0
         DO 13 M = 1,22
            T,S1,S2,S3 = 0.0
            DO 12 I = 1,50
               J = I - 1
               S1 = S1 + K**J/SQRT((2.0*FLOAT(J)/R*B)**2 + 1.0)
               S2 = S2 + K**J/SQRT((2.0*B/R*(FLOAT(J) + 1.0))**2 + 1.0)
               S3 = S3 + K**J/SQRT((B/R*(2.0*FLOAT(J) + 1.0))**2 + 1.0)
12          CONTINUE
               T = T + 1.0 + S1*SZ1 - S2*SZ2 - S3*SZ3
               T = T*(RO(1, N) + RO(3,N))/(4.0*3.14159265*R)
               A(M) = T
               R = R*1.25895
13          CONTINUE
               WRITE (2,8) (KI,KI = 1,3), (RO(KI,N),KI = 1,3),B,A
8              FORMAT (10X,3(2HRO,I1,2H = ,10X)/1H+ ,17X,
                     XF5.2,2(10X,F5.2)/10X,3HB = ,F5.2//5(5X,E14.7))
               B = B + 0.2
               WRITE (2,9)
9              FORMAT (///)
11          CONTINUE
10          CONTINUE

```



```

      RI(1) = 1.0
      DO 14 J = 2,22
14    RI(J) = RI(J-1)*1.25895
      WRITE(2,15) RI
15    FORMAT(10X,18HA TAVOLSÁGÉRTÉKEK:,//(10XF15.5))
      STOP
      END

```

IRODALOM

- [1] *Krey, Th. C.*: Channel Waves as a Tool of Applied Geophysics in Coal Mining. Geophysics, XXVIII. 5. pp. 701–714.
- [2] *Van Nostrand, R. G. and Cook, K. L.*: Interpretation of Resistivity Data. U. S. Government Printing Office, Washington, 1966. pp. 134–135.
- [3] *Csókás J.*: Feltáró és fejtéselőkészítő vágatokból tektonikai zavarok kimutatása geofizikai módszerekkel. I. Részjelentés. Borsodi Szénbányák. 1973. október, 5–17 o.

Lapszemle

Hidrológiai Közlöny 54. évf. 9. sz. 1974 szeptember

Vágás István: Egyesületi és műszaki hírek, 395. és 417. old. A hírek között beszámoló szerepel a Magyar Hidrológiai Társaság és a Magyar Geofizikusok Egyesülete Mélyfúrási Geofizikai Szakosztálya által 1974. május 24-én közösen rendezett ülészakról a „Műszeres kútvizsgálatok” köréből, amelyen a következő geofizikai érdekű előadások hangzottak el:

Lakatos Sándor: Rétegeparaméterek meghatározásának korszerű lehetőségei és az ezzel kapcsolatban felmerült problémák.

Andrássy László – Hursán László – Kiss Emil – Papp Jenő – Viola Balázs: Kútdiagnosztikai vizsgálatok a vizkutatásban.

Hidrológiai Közlöny 54. évf. 10. sz. 1974 október

Aujeszky Géza – Karácsonyi Sándor – Scheuer Gyula: A DNY-i Bükk karsztvízföldtani viszonyai. 465–476. old.

Földtani Közlöny 104. köt., 2. sz. 1974

Dank Viktor: Elnöki megnyitó a Magyarhoni Földtani Társulat 125 éves fennállásának alkalmából rendezett ünnepi közgyűlésen 151–166. old.

Dank Viktor: A Magyarhoni Földtani Társulat és a Kőolajipar 190–199 old.

Földtani Kutatás XVII. évf., 3. sz. 1974

Szádeczky-Kardoss Elemér: A módszeres szubdukcióvizsgálat a hasznosítható telepek kutatásának szolgálatában, 1–10 old.

Horváth Ferenc – Stegena Lajos – Géczy Barnabás: Szialikus és szimaikus ívközi medencék, 11–16 old.

Géczy Barnabás: Lemeztektonika és paleontológia. 17–21 old.

Szénás György: A lemeztektonika és bírálata. 35–38 old.

Balkay Bálint: A globális tektonika lokális problémái. 39–40 old.

Császár Géza – Haas János: Irodalmi áttekintés a lemeztektonikai elmélet mai helyzetéről. 41–56 old.

T. G.

A felszíni és karottázs elektromágneses szondázások interpretációjának az információelméleten és a lineáris rendszerek elméletén alapuló stratégiája*

SALÁT PÉTER – DREHOS DEZSŐ**

Az előadás a felszíni egyenáramú szondázások, a magnetotellurikus szondázások, az elektromágneses frekvencia szondázások, az elektromágneses térbeállások szondázások, valamint az elektromos és indukciós karottázs szelvényezések interpretációjának automatizálásával foglalkozik. A nevezett geofizikai eljárások interpretációjának stratégiáját célszerű a mérésekből kapható információ és az információ kinyerésére fordított költség viszonyának maximalizálására alapozni. Az információ mértékéül az interpretáció során becsülhető paraméterek együttes valószínűségi eloszlásának entrópiáját lehet tekinteni. Vizsgálataink szerint az elektromágneses szondázások direkt feladatának és inverz transzformációjának numerikus megoldását a lineáris rendszerek elméletére felépített algoritmusok $10 \div 100$ -szor meggyorsítják a hagyományos számítási módszerekhez képest. Az előadás megmutatja, hogy

a) a geofizikai interpretáció statisztikai, információelméleti eredményei és

b) a lineáris rendszerek elméletére felépített diszkrét konvolúciós algoritmusok

alapján a fent nevezett geofizikai mérések interpretációjának közel optimális eredményt szolgáltató stratégiája valószínűsíthető meg. Az ajánlott stratégiával kapható eredmények a következők:

1. A kutatott geofizikai struktúrát jellemző paraméterek információ-elméletileg optimális száma.

2. A paraméterek becslése a legkisebb négyzetek általánosított elve szerint.

3. A becsült paraméterek hibáinak becslése valószínűség-számítási módszerrel.

4. Az interpretáció hatékonyságának mértéke statisztikai vizsgálatok alapján.

В докладе рассматриваются вопросы об автоматизации интерпретации данных, получаемых методами наземных стационарных электрических зондирований, магнитотеллурических зондирований, электромагнитных частотных зондирований, становления электромагнитного поля, а также электрическим и индукционным методами каротаж. В основу стратегии интерпретации данных получаемых вышеперечисленными методами, целесообразно положить максимум отношения получаемой по наблюдениям информации к расходам, связанным с выявлением этой информации. Параметром информативности может служить нег энтропия совместного распределения вероятностей параметров, изучаемых в процессе интерпретации. Проведенные исследования показывают, что численное решение прямой и задачи и обратной трансформации данных электромагнитных зондирований осуществляется в $10 - 100$ раз быстрее при помощи алгоритмов, основывающихся на теории линейных систем, по сравнению с стандартными методами. В докладе показано, что

a) статистические, информационные результаты интерпретации геофизических данных, и

b) алгоритмы дискретной свертки, основывающиеся на теории линейных систем позволяют реализовать стратегию интерпретации геофизических наблюдений по вышеуказанному методу, приводящую к почти оптимальным результатам. При применении предлагаемой стратегии получают следующие результаты:

1. Оптимальное по теории информации число параметров, характеризующих изучаемую геофизическую структуру;

2. Оценка параметров по обобщенному принципу наименьших квадратов;

3. Оценка погрешностей изучаемых параметров по методу исчисления вероятностей;

4. Степень эффективности интерпретации по статистическим анализам.

* Elhangzott 1974. szeptemberben a XIX. Szimpóziumon Torunban.

** Salát Péter – Drehos Dezső; Eötvös Loránd Tudományegyetem Geofizikai Tanszék

In the paper automatization of interpretation of surface DC soundings, magnetotelluric soundings, electromagnetic frequency soundings, electromagnetic transient soundings as well as of electric and induction borehole soundings is dealt with. It is advisable to build up the interpretation strategy of the said geophysical procedures on the basis of maximalization of the ratio between the quantity of information obtainable from the measurements and the expenditure applied for gaining the informations. As a measure of information the negentropy of the total probability distribution of parameters which can be estimated during the interpretation should be taken. According to our investigations the numerical solution of the direct problem and of the inverse transformation of electromagnetic soundings can be speeded up by algorithms built up on the basis of the theory of linear systems against the conventional processing methods. It is shown that on the basis of

*a) the statistical information-theoretical results of geophysical interpretation and of the
b) discrete convolution- algorithms built up on the theory of linear systems
one can realize a strategy of interpretation of the said geophysical measurements furnishing a nearly optimal result. Using the recommended strategy we can obtain*

- 1. the information-theoretically optimal number of parameters characterising the geophysical structure under investigation,*
- 2. an estimate of the errors of the parameters by means of a probability-theoretical method,*
- 3. an estimate of the values of the parameters according to the generalized principle of least squares, and*
- 4. the effectivity- mass of the interpretation based on statistical considerations.*

Az alkalmazott geofizikai kutatómódszerek között széles körben használatosak a felszínen és fúrólukban végzett elektromágneses szondázások. A szondázási módszerek csoportjába sorolhatók a következő jól ismert geofizikai eljárások:

a vertikális elektromos szondázások (VES),
a magnetotellurikus szondázások (MTS),
az elektromágneses frekvencia-szondázások (FRS),
a tranziens, vagy térbeállásos szondázások (TRS),
a stacioner karottázs szondázások (SKS),
a fókuszált áramterű karottázs szondázások' (FKS),
az indukciós karottázs szondázások (IKS).

A geofizikai gyakorlatban mintegy 20–30 különféle elektromágneses szondázási módszer rutinszerű alkalmazása terjedt el.

A szondázások általános feladata a kutatott geofizikai objektumok struktúrájának felderítése. A felderítés két szorosan összefüggő stádiuma a mérés és a kiértékelés.

Az elektromágneses szondázások mérése során az elektromágneses tér jellemzőinek térbeli és/vagy időbeli eloszlását kell meghatározni a vizsgált objektum környezetében.

A szondázások terepi méréseinek kiértékelése során pedig matematikai számításokkal lehet az eredményekből a kutatott objektumok struktúrájára vonatkozó információkat kinyerni.

A szondázások terepi mérési eredményeit – az úgynevezett szondázási görbéket – az esetek nagy többségében mind a mai napig elméleti görbeseregekkel való grafikus egyeztetés útján szokás kiértékelni. Az interpretáció jól ismert hagyományos módszerei rendkívül munkaigényesek, többnyire lassúak, korlátozott effektivitásúak, gyakran szubjektívek, hiányos információt szolgáltató, közvetett módszerek. A fenti elégtelenségek következtében nehezen automatizálhatók.

A jelen előadás célja az elektromágneses szondázások interpretációjának egy optimális stratégiáját ismertetni. A bemutatandó interpretációs stratégia két alappillére:

- a) a geofizikai interpretáció információelméleti, statisztikai eredményei,
- b) a lineáris rendszerek elméletére épített diszkrét konvolúciós interpretációs algoritmusok.

Az előadás vázlatosan megmutatja, hogy a fenti alapokon kis munkaigényű, nagyon gyors, magas effektivitású, teljesen objektív, közel maximális információt szolgáltató, közvetlen interpretációs algoritmusok dolgozhatók ki. A felsorolt előnyök következtében a számítások könnyen automatizálhatók.

Az elektromágneses szondázások interpretációjának optimális stratégiáját célszerű a mérésekből kinyert információ és az információ kinyerésére fordított költség viszonyának maximalizálására felépíteni.

Az információ/költség arány maximalizálásának igénye azt jelenti, hogy a kutatott geofizikai objektumot jellemző paramétereknek minél effektívebb becslését kell elérni, minél kevesebb méréssel és számítással, azaz minimális számú operációval.

Az interpretáció effektivitásának mértékeként F. M. Golcman „Az interpretáció statisztikus modelljei” című ismert könyvének nyomán a következő képlet szolgálhat tájékoztatásul:

$$H(\hat{\vec{p}}) \approx -\log \sqrt{(2\pi e)^m \cdot (\det \|D(\hat{\vec{p}})\|)},$$

$H(\hat{\vec{p}})$ az interpretáció során becsült $\hat{\vec{p}}$ paraméterek együttes valószínűségi eloszlásának negentrópiája, amit kézenfekvő az interpretációval nyert információtartalom mennyiségének tekinteni,

m a $\hat{\vec{p}}$ paraméter-vektor komponenseinek a száma, a becsült paraméterek száma, $\|D(\hat{\vec{p}})\|$ a becsült paraméterek hiba-mátrixa, vagy más néven a kovariáció-mátrix.

A maximális negentrópiájú, effektív interpretációt a minimális hibákkal rendelkező paraméterbecslés szolgáltatja, precízen fogalmazva az a becslés, amelynek a hiba-mátrixa adott m számú paraméter esetén a legkisebb determinánssal rendelkezik.

Nilvánvaló, hogy minden interpretációs stratégiának az effektivitás maximalizálását kell céloznia, még ha ezt elérni nem is egyszerű feladat. Különösen nem egyszerű, ha egyúttal a számítási munkák minimalizálásának követelményét is teljesíteni kell.

Az optimális interpretációs stratégia lényegének megvilágításához érdemes röviden áttekinteni az elektromágneses szondázások interpretációjának három alapvető momentumát.

- I. Az interpretáció bázisának meghatározása a kutatott geofizikai stuktúrára vonatkozó információk alapján.

Két fázis különíthető el:

- a) a geofizikai modell feltételezése és kiválasztása,
- b) a választott modellnek megfelelően a terepi mérési eredmények felvétele.

- II. Az információt hordozó mennyiségek transzformációi.

Két fázis különböztethető meg:

- a) az egyenes feladat megoldásának transzformációi,
- b) a mérési adatok feldolgozásának transzformációi.

III. A modelljellemzők és a mérési eredmények közötti illeszkedés, meg-
egyezés megkeresése. Itt is két fázis különböztethető meg egymástól:

- a) az illesztés kritériumának megválasztása,
- b) a választott kritériumot kielégítő megoldás meghatározása.

A következőkben megmutatjuk, hogy az interpretáció különböző fázisai-
ban miképpen lehetséges az optimalizáció szempontjait figyelembe venni.
Rámutatunk, hogy az információ/operáció arány növelése az egyes interpretá-
ciós fázisokban milyen követelmények teljesítésével érhető el. Vizsgáljuk sorra
az interpretáció fázisait.

I/a. A modellválasztás

A modellválasztás azt jelenti, hogy az interpretáció a rendkívül bonyolult
reális világot idealizálja, leegyszerűsíti, matematikailag kezelhetővé alakítja.
Az interpretáció egy modellt „húz rá” a valóságra. A választott modell akkor
jó, ha a valóság leglényegesebb, legjellemzőbb, átlagos vonásait helyesen tük-
rozi vissza, és matematikailag viszonylag egyszerűen kezelhető.

A modellválasztás kétféle idealizációt jelent:

- a) Az elektromágneses tér gerjesztésének és megfigyelésének idealizációi.

Vizsgálataink a szokásos idealizált gerjesztésekre terjednek ki mint:.

- pontszerű egyenáramú forrás (VES, SKS, FKS),
- pontszerű harmonikus dipól forrás (FRS, IKS),
- pontszerű lépcsőfüggvény szerint változó forrás (TRS),
- harmonikus síkhullám szuperpozíció (MTS).

b) A közeg modellje, a kutatott objektumok idealizációi. Vizsgálataink
kizárólag a felszíni geoelektromos szondázások horizontálisan rétegzett ideális
rétegsor modelljére és a karottázs szondázások koaxiális hengergyűrűkből
álló ideális fúróluk modelljére terjednek ki.

Több évtizedes gyakorlati tapasztalatok szerint a fent említett interpre-
tációs modellek kitűnően beváltak. Rendkívüli hatékonyságukat az magya-
rázza, hogy a reális elektromágneses gerjesztést és a gravitációs térben kelet-
kezett üledékes rétegösszletet az adott modellek „jól leírják” és a modellekre
vonatkozó számítások viszonylag egyszerűen elvégezhetők.

A közeg modelljét a \vec{p} paraméter-vektorral szokás jellemezni.
Horizontálisan rétegzett rétegsor modellre:

$$\vec{p} = \vec{p}(\varrho_1, d_1, \varrho_2, d_2, \dots, \varrho_{N-1}, d_{N-1}, \varrho_N).$$

A koaxiális hengergyűrűkből álló fúróluk modellre:

$$\vec{p} = \vec{p}(\varrho_1, d'_1, \varrho_2, d'_2, \dots, \varrho_{K-1}, d'_{K-1}, \varrho_K).$$

ϱ_j a rétegek elektromos fajlagos ellenállása,

d_j a rétegek vastagsága,

d'_j a hengergyűrűk átmérője.

Az információ/operáció arány növelése szempontjából a modellválasztás
során felmerülő kérdés, hogy a kutatott objektum milyen mértékben felel meg
az ideális modellnek, és az interpretáció optimálisan hány rétegre képes fel-
bontani a vizsgált rétegsort.

A modell-feltételezésnek megfelelő mérési eredmények meghatározása azt jelenti, hogy a szondázások terepi méréseit eleve a választott modell \vec{p} paramétereinek optimális meghatározása céljából kell megtervezni és végrehajtani.

Fontos hangsúlyozni, hogy a szondázások terepi mérési eredményeit valószínűségi változók konkrét értékeinek kell tekinteni. Minden szondázási eljárás során több különböző fizikai mennyiség mérése szükséges. A különböző mérhető fizikai mennyiségeket reprezentáló valószínűségi változókat jelölje X_j ($j = 1, 2, \dots, J$).

L. A. Halpin „A geofizikai kutatások interpretációjának információelméleti teóriája” című 1958-ban közölt alapvető cikkében kimutatta, hogy ha a geofizikai mérési eredményeket reprezentáló X_j valószínűségi változóknak csak az első momentuma (más szóval várható értéke) ismeretes, akkor a kutatott geofizikai objektumról elvileg lehetetlen információt kinyerni a mérési eredményekből. Információ csak akkor kapható, ha az X_j valószínűségi változók második momentumai is ismeretesek (például kovariancia-mátrix formájában).

Az idézett információelméleti eredmény azt jelenti, hogy csak azok a mérési eredmények interpretálhatók, amelyeknek a hibái is ismeretesek.

Az információ/operáció arány növelésének elengedhetetlen feltétele a mérési eredményeket reprezentáló valószínűségi változók várható értékének és hiba-mátrixának ismerete.

A mérési eredmények egyszerű statisztikai analízise alapján az \hat{x}_j empirikus várható érték és a $\|\hat{D}(\vec{x})\|$ empirikus kovariancia-mátrix gyakorlatilag mindig meghatározható.

II/a. Az egyenes feladat megoldása

Az egyenes feladat transzformációinak

$$\vec{p} \longrightarrow F(\vec{p}, w) \longrightarrow g(\vec{p}, v)$$

A modell ismert \vec{p} paraméter-vektorából kiindulva analitikus formában meg lehet határozni egy olyan alkalmas $F(\vec{p}, w)$ modellkarakterisztikát, amelynek lineáris integráltranszformációja a modell környezetében alkalmas konfigurációban megmérhető $g(\vec{p}, v)$ elektromágneses tér jellemző elméleti értékét szolgáltatja. Az elektromágneses szondázások egyenes feladata megoldásainak általános alakja:

$$g(v) = \int_0^\infty \{F(w)\} \cdot [K(w \cdot v)] \frac{1}{w} dw.$$

Az interpretáció hagyományos próbálgatásos módszerei ennek az integráltranszformációnak a többszöri elvégzésére vannak alapozva.

Az információ/operáció arány növelése szempontjából kívánatos az egyenes feladat transzformációinak minél kevesebb-szer való elvégzése, és a számítások leegyszerűsítése, meggyorsítása.

II/b. Az inverz transzformációk

A mérési eredmények feldolgozása során az egyenes feladat transzformációinak sokszori elvégzése helyett igen gyakran célszerű a választott modellnek

megfelelően a direkt transzformációk inverzét meghatározni. Az inverz transzformációk kiindulása tehát az elektromágneses tér megmért jellemzői. Az adatfeldolgozás inverz transzformációinak skémája:

$$\{\vec{x}\} \longrightarrow g^*(\vec{x}, v) \longrightarrow F^*(\vec{x}, w) \longrightarrow \vec{p}$$

$\{\vec{x}\}$ jelenti a közvetlenül megmért mennyiségek összességét, amelyekből rendszerint egyszerű számításokkal a további analízisre alkalmas $g^*(\vec{x}, v)$ közvetett mérési eredmények állíthatók elő. A $g^*(\vec{x}, v)$ mérési eredményekből az egyenes feladat transzformációinak inverzét véve meg lehet határozni egy $F^*(\vec{x}, w)$ modell-karakterisztikát. Az inverz transzformációk általános alakja:

$$F^*(w) = \int_0^\infty \{g^*(v)\} \cdot [K^*(w \cdot v)] \frac{1}{v} dv.$$

Az információ/operáció arány növelése szempontjából nyilvánvalóan kívánatos az inverz transzformáció számításait a lehető legkevesebb operációval elvégezni.

III/a. Az illesztési kritérium megválasztása

Az ideális modellre csupán hasonló geofizikai objektum környezetében meghatározott mérési hibákkal terhelt mérési eredményeket jelölje $y_i^{(M)}$. Az ideális modellre vonatkozó elméletileg levezethető teoretikus eredményeket jelölje $y_i^{(T)}(\vec{p})$.

Illeszkedési kritériumon értendő az a matematikai feltételek, amelyek alapján a mért $y_i^{(M)}$ értékek és az elméleti $y_i^{(T)}(\vec{p})$ értékek összehasonlításából, azok illeszkedéséből a kutatott geofizikai struktúrát jellemző \vec{p} paraméterekre és azok hibájára becslést lehet adni.

Az elektromágneses szondázások gyakorlatában különböző nem korrekt és korrekt illesztési kritériumok használatosak. Például:

$$\left. \begin{array}{l} y_i^{(M)} - y_i^{(T)}(\hat{\vec{p}}) \approx 0, \\ \text{vagy} \\ \sum |y_i^{(M)} - y_i^{(T)}(\hat{\vec{p}})| \approx \min. \end{array} \right\} \text{ Ezek a grafikus illesztés kritériumai.}$$

$$\sum [y_i^{(M)} - y_i^{(T)}(\hat{\vec{p}})]^2 \approx \min.$$

Ez a legkisebb négyzetek elvének egyszerű illesztési kritériuma.

$$L(\hat{\vec{p}}) = \max. \quad (L(\vec{p}) \text{ a likelihood függvény})$$

Ez a maximum likelihood becslés kritériuma.

$$\|D(\hat{\vec{p}})\| = \min. \quad (\|D(\vec{p})\| \text{ a becsült } \vec{p} \text{ paraméterek hiba mátrixa}).$$

Ez az effektív becslés kritériuma.

$$\frac{\sum \text{INFORMÁCIÓ}}{\sum \text{OPERÁCIÓ}} \max.$$

Ez a kritérium pedig az általunk optimális interpretációs stratégiának nevezett eljárási kritériuma.

III/b. Az illesztési kritériumokat kielégítő megoldások meghatározása

Az esetek nagy többségében az illesztési kritériumokat kielégítő megoldások számítása az $y_i^{(T)}(\hat{p})$ függvények linearizálásával kezdődik:

$$y_i^{(T)}(\hat{p}) \approx y_i^{(T)}(\overset{\circ}{p}) + \sum_{k=1}^m \left[\left(\frac{\partial y_i^{(T)}(\hat{p})}{\partial p_k} \right)_{\overset{\circ}{p}} \cdot d p_k \right]$$

$$y_i^{(T)}(\hat{p}) \approx y_i^{(T)}(\overset{\circ}{p}) + \sum_{k=1}^m [a_{ik} \cdot \Theta_k], \quad \Theta_k = d p_k = \hat{p}_k - \overset{\circ}{p}_k.$$

$\overset{\circ}{p}$ a keresett paraméterek egy nulladik közelítő becslése. Az összes $y_i^{(T)}(\hat{p})$ elméleti értékből alkotott $\vec{y}^{(T)}(\hat{p})$ vektorra vonatkozó lineáris egyenlet mátrix egyenlőség formájában a következő:

$$\vec{y}^{(T)}(\hat{p}) \approx \vec{y}^{(T)}(\overset{\circ}{p}) + \|A\| \cdot \vec{\Theta}, \quad \vec{\Theta} = \hat{p} - \overset{\circ}{p},$$

Az $\|A\|$ mátrix elemei az $y_i^{(T)}(\hat{p})$ Taylor-sorfejtésének a_{ik} elsőrendű parciális deriváltjai, $\vec{p} = \overset{\circ}{p}$ -nál.

Az $y^{(T)}(\hat{p})$ függvény linearizálása után a választott illesztési kritériumnak megfelelően rendszerint lineáris egyenletrendszert lehet felállítani. A feladat végső megoldását pedig mátrix-invertálás szolgáltatja.

Az információ/operáció viszony növelése szempontjából kívánatos, hogy a számításigényes Taylor-sorfejtés és a mátrix-invertálás műveletét kevészer kelljen elvégezni.

Ezzel áttekintettük az elektromágneses szondázások interpretációjának legfontosabb fázisait. Rámutattunk, mely fázisokban milyen követelmények figyelembevételével ajánlatos az információ/operáció arány növelését biztosítani.

Az interpretáció optimális stratégiájának ismertetése előtt a következőkben röviden összegezzük az elektromágneses szondázások ideális modelljein végzett vizsgálataink eredményeit.

Az ideális rétegsor modelleket két különböző tartományban lehet jellemezni:

a) A rétegsor experimentális-tartománybeli jellemzői

Az experimentális tartományban a struktúrát a mérésekkel közvetlenül meghatározható mennyiségek jellemzik. Ilyenek a $g(v)$ és $g^*(v)$ -vel jelölt függvények. Leggyakrabban használt képviselőik a különféle „látszólagos fajlagos ellenállás görbék”:

$$\bar{q}_K(r), \quad \tilde{q}_K(t), \quad \tilde{q}_K(w, r), \quad \bar{q}_K^-(t, r), \quad \bar{q}_K^P(r), \quad \bar{q}_K^G(r), \quad \tilde{q}_K^{(I)}(\omega, r) \quad \text{stb.}$$

Itt $v = r$, vagy $v = t$. (r a távolság t az idő).

b) A rétegsor frekvencia-tartománybeli jellemzői

A frekvencia-tartományban a struktúrát a korábban $F(w)$ és $F^*(w)$ -vel jelölt függvények jellemzik. Ezeknek a modell-karakterisztikáknak közös tulajdonságuk, hogy a \vec{p} paraméter vektoron kívül kizárólag csak a térbeli frekvenciától és az időbeli körfrekvenciától függenek:

$$w = m, \quad \text{vagy} \quad w = \omega,$$

$$F(w) = F(\vec{p}, m, \omega), \quad F^*(w) = F^*(\vec{p}, m, \omega).$$

Az F és F^* függvények a p, m, w változóknak viszonylag egyszerű analitikai formában megadható függvényei.

Az experimentális tartomány és a frekvencia-tartomány közötti átmenetet lineáris konvolúció típusú integráltranszformációk írják le.

Korábbi publikációinkban és előadásainkban megmutattuk, hogy az elektromágneses szondázások modelljeinek g vagy g^* experimentális karakterisztikái egyik oldalról, és a modell F vagy F^* frekvencia karakterisztikái a másik oldalról úgy tekinthetők, mint lineáris szűrő rendszerek kimenetei és bemenetei, vagy pedig bemenetei és kimenetei.

A fentebb bemutatott lineáris integráltranszformációk konvolúció jellegét igen egyszerű belátni.

Az egyenes feladat transzformációjában hajtsuk végre a következő behelyettesítéseket:

$$u = \log(w), \quad t = \log\left(\frac{1}{v}\right), \quad du = \frac{dw}{w}, \quad w = e^u, \quad v = e^{-t},$$

$$g(e^{-t}) = \int_{-\infty}^{\infty} \{F(e^u)\} \cdot [K(e^{-(t-u)})] du,$$

ami átjelölésekkel:

$$\bar{g}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} [\bar{F}(u)] \cdot [\bar{K}(t-u)] du;$$

ez a jól ismert konvolúciós integrál.

Az adatok feldolgozásának inverz transzformációjában hajtsuk végre a következő behelyettesítéseket:

$$u = \log(v), \quad t = \log\left(\frac{1}{w}\right), \quad du = \frac{dv}{v}, \quad v = e^u, \quad w = e^{-t},$$

$$F^*(e^{-t}) = \int_{-\infty}^{\infty} \{g^*(e^u)\} \cdot [K^*(e^{-(t-u)})] du,$$

ami átjelölésekkel:

$$\bar{F}^*(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \{\bar{g}^*(u)\} \cdot [\bar{K}^*(t-u)] du;$$

ez szintén konvolúciós integrál.

A bemutatott helyettesítésekből kiindulva kidolgoztunk egy univerzális eljárást az elektromágneses szondázások interpretációjához elengedhetetlenül szükséges speciális integráltranszformációk diszkrét konvolúciókkal való opti-
mális közelítésére.

A közelítés általános formája:

$$\bar{g}_i \approx \sum_{j=ja}^{jb} \bar{F}_{l-j} \cdot S_j, \quad \text{illetve} \quad \bar{F}_l^* \approx \sum_{j=ja}^{jb} \bar{g}_{l-j}^* \cdot S_j^*.$$

Itt l és j egész számok, \bar{g}_l , \bar{g}_{l-j}^* és \bar{F}_{l-j} , \bar{F}_l^* a $\bar{g}(t)$, $\bar{g}^*(t)$ és $\bar{F}(t)$, $\bar{F}^*(t)$ függvények egy meghatározott Δ lépésközrel diszkrétizált értékei, S_j és S_j^* a lineáris átala-
kítás koeficiensei, röviden szűrőkoeficiensek.

A diszkrét konvolúciós algoritmusok alapján megírt programokat a gy-
akorlatban kipróbáltuk és más eljárásokkal is összehasonlítottuk.

A vertikális elektromos szondázások látszólagos fajlagos ellenállás görbéi-
nek számítására Van Dam közölt egy ALGOL programot, amit a jól ismert
Standard Graphs for Resistivity Prospecting (1969 EAEG) című görbesereg
számítására használtak. Az általunk a diszkrét konvolúciók algoritmusára fel-
épített ugyancsak ALGOL program 30–300-szor gyorsabban számolja a pub-
likált programmal megegyező kb. 0,1%-os pontosságú eredményeket.

Az általunk konstruált programmal 10–15 réteges VES görbékét számol-
tunk a Geofizikai Kutatási Üzem megbízásából. Az említett publikált program-
mal 3–4 jegyre azonos eredményeket annál 100–300-szor gyorsabban kap-
tuk meg.

Az elektromágneses frekvenciaszondázásokra vonatkozóan A. A. Kaufman
és G. M. Morozova közölt eredményeket 1970-ben. Mágneses dipól-gerjesztés
és mágneses komponensek regisztrálásának esetére kétréteges frekvencia szon-
dázási elméleti eredményeket foglaltak táblázatokba. Az általunk a diszkrét
konvolúciós algoritmusára felépített program a táblázatok eredményeit 4–5
jegy pontosan reprodukálta. Ugyanezt a pontosságot a klasszikus integrál-
számítási módszerekkel, pl. a Simpson formulával becsléseink szerint kb. 10–
100-szor több művelettel lehetne elérni.

Többréteges modellekre vonatkozó frekvencia szondázási eredményeket
is rutinszerűen számoltunk a Geofizikai Kutatási Üzem megbízásából.

Két- és háromréteges egyenáramú karottázs szondázás esetére V. N. Dach-
nov közölt görbéket. Az általunk a diszkrét konvolúciók algoritmusára felépi-
tett program a közölt görbékkel teljesen egybeeső görbéket szolgáltatott.
Becsléseink szerint a 0,5%-os grafikus pontosság eléréséhez a klasszikus integ-
rálszámítási módszerekkel kb. 10–100-szor több műveletre volna szükség.

Próbaszámításaink szerint az inverz transzformációk számításait is 10–
100-szor meggyorsítják a diszkrét konvolúciós algoritmusok a hagyományos
integrálási eljárásokhoz képest.

Vizsgálataink eredményét összegezve megállapíthattuk, hogy az elektro-
mágneses szondázások direkt feladatának és inverz transzformációjának nu-
merikus megoldását a lineáris rendszerek elméletére alapozott diszkrét kon-
volúciós algoritmusok 10–100-szor meggyorsítják a hagyományos számítási
módszerekhez képest.

A lineáris rendszerek elméletére alapozott diszkrét konvolúciós algorit-
musok indokoltan képezhetik az interpretáció optimális stratégiájának alap-
pillérét.

A következőkben megmutatjuk az interpretáció ajánlható stratégiájának legfontosabb momentumait.

Ideális esetben az elektromágneses szondázások interpretációjának meg kellene kezdődnie már a terepi mérések megindulása előtt. A priori információk alapján a következő kérdésekre kell tudni a választ:

Mi a célja a méréseknek? A feltárandó szerkezet mennyiben felelhet meg az ideális modellnek? Milyen lehetőségek és milyen határok között változnak a kutatott szerkezetre várhatóan ráhúzható modell átlagos jellemző paramétereit? Milyen pontos mérőműszer áll a mérések rendelkezésére?

Az interpretáció mérések előtti fázisában ajánlatos a F. M. Goleman által információs mátrixnak nevezett információelméleti jellemző gondos analízise.

Az információ mátrix definíciója:

$$\|B\| = \|A^{TRP}\| \cdot \|D^{-1}(\vec{y}^{(M)})\| \cdot \|A\|.$$

A jelölések már korábbról ismeretesek $\|A^{TRP}\|$ az $\|A\|$ mátrix transzponáltja.

Az a priori információk ismeretében a következőket lehet meghatározni:

1. Az előre sejthető $\hat{\vec{p}}$ paraméter-vektorok néhány jellegzetes reprezentánsát.
2. A várható $\hat{\vec{p}}$ paraméter vektorokhoz tartozó $y_i^{(T)}(\vec{p})$ elméleti mérési eredményeket.
3. Adott mérőműszer esetén a $\|D(\vec{y}^{(M)})\|$ hiba-mátrix becsléseit.
4. Az $y_i^{(T)}(\hat{\vec{p}})$ függvények Taylor-sorfejtését, azaz az $\|A\|$ mátrix a_{ik} elemeit.

A fenti mennyiségek ismeretében a $\|B\|$ információs mátrix meghatározható minden előre sejtett $\hat{\vec{p}}$ paraméter-vektorhoz. Amint az az információ mátrix definíciós képletéből látható, a $\|B\|$ mátrix kiszámításához nem szükségesek az $y_i^{(M)}$ mérési eredmények. $\|B\|$ meghatározásához elégségesek a kutatott struktúrára és a kutatás eszközeire vonatkozó a priori információk.

Az információ mátrix inverze a $\hat{\vec{p}}$ paraméterek hiba mátrixa:

$$\|D(\hat{\vec{p}})\| = \|B^{-1}\|.$$

Ez azt jelenti, hogy már a mérések megkezdése előtt felbecsülhető az interpretáció effektivitásának mértéke a $H(\hat{\vec{p}})$ entrópia képlettel.

Az ajánlott interpretációs stratégia első lépése tehát az a priori információk gondos analízise. Ennek alapján meg lehet határozni azt az optimális Δ lépésközt, amellyel a szondázást végrehajtva az információk kinyerhetők a mérési eredményekből, valamint meg lehet adni azt a mérési tartományt, amely az információk zömét tartalmazza. Az előzetes analízis eredményeképpen már előzetesen meg lehet becsülni a \vec{p} paraméter-vektor komponenseinek körülbelüli optimális számát, amely közel maximális információt szolgáltat.

Megjegyezzük, hogy már a mérések tervezésének fázisában sok számítási munkát lehet megtakarítani a diszkrét konvolúciós algoritmusok alkalmazásával.

Az előzetes analízis során vizsgált $y_i^{(T)}(\hat{\vec{p}})$ elméleti értékek a rétegsor két különböző karakterisztikáját szimbolizálhatják. A frekvencia-tartományban

$y_i^{(T)}(\vec{p}) \equiv F_i^{*(T)}(\vec{p}, v)$, az experimentális tartományban pedig $y_i^{(T)}(\vec{p}) \equiv g_i^{(T)}(\vec{p}, v)$. A két tartomány között a diszkrét konvolúciók algoritmusai teremtek gyors átmenetet.

Az eredeti integráltranszformációk kölcsönösen egyértelmű transzformációk, ennek következtében a diszkrét konvolúciók is azok. Mint ismeretes a kölcsönösen egyértelmű transzformációk az információ mennyiségét nem változtatják. Ez azt jelenti, hogy az interpretáció számításait tetszés szerint lehet végezni, akár az experimentális, akár a frekvencia-tartományban.

Nyilvánvaló, hogy minden analízist célszerű a frekvencia-tartományban a frekvencia-karakterisztikán végezni, minthogy az $F(\vec{p}, m, \omega)$ és $F^*(\vec{p}, m, \omega)$ karakterisztikák viszonylag egyszerű analitikai formában függnek a \vec{p} , m , ω változóktól.

Az előzetes vizsgálatok alapján már a mérések tervezésének fázisában ajánlatos gondoskodni arról, hogy az interpretáció során a diszkrét konvolúciók algoritmusát könnyen és hatékonyan lehessen használni. Az optimális stratégia második fontos momentuma az, hogy a mérési eredmények az előzőekben tárgyalt vizsgálatok szempontjainak megfelelően legyenek meghatározva.

A tényleges interpretáció kiindulása az X_j valószínűségi változók konkrét megmért értékeinek a sorozata $\{\hat{x}\}$, a mérőműszerek pontossági jellemzői és a paraméterek közel optimális száma.

Az adatfeldolgozás első lépése a $\{\hat{x}\}$ sorozat statisztikai analízise, a mért mennyiségek várható értékének és kovarianciáinak meghatározása:

$$\{\hat{x}_1, \hat{x}_2, \dots, \hat{x}_j\}, \left\{ \left\| \hat{D}(\hat{x}) \right\| \right\}$$

A következő lépés a rétegsort jellemző alkalmas experimentális karakterisztikák várható értékének kiszámítása:

$$\{\hat{x}_1, \hat{x}_2, \dots, \hat{x}_j\} \longrightarrow g^{(M)}(\vec{x}, v), \quad g^{*(M)}(\vec{x}, v),$$

Majd az ismert hibaterjedési szabályok szerint meg kell határozni az experimentális karakterisztikák hiba-mátrixát is:

$$\left\| D(\vec{g}^{(M)}(\hat{x})) \right\|, \quad \left\| D(\vec{g}^{*(M)}(\hat{x})) \right\|,$$

Ezzel a számítás folyamata újabb döntő momentumához érkezik: Melyik tartományban érdemes tovább folytatni a mérési eredmények analízisét? Az optimális stratégia a frekvencia-tartományt részesíti előnyben. A diszkrét konvolúciók algoritmusának felhasználásával az experimentális tartományból át kell térni a frekvencia-tartományba:

$$F_i^{*(M)} \approx \sum_{j=ja}^{jb} g_{i-j}^{*(M)} \cdot S_j.$$

A hibaterjedési szabályok szerint a $\left\| D(\vec{g}^{*(M)}(\hat{X})) \right\|$ hibák ismeretében az $F_i^{*(M)}(\vec{g}^{*(M)})$ függvény hiba-mátrixát $\left(\left\| D(\vec{F}^{(M)}(\vec{g}^{*(M)})) \right\| \right)$ szintén meg kell határozni.

Az $F^{*(M)}(w)$ frekvencia-karakterisztikák vizsgálata többféleképpen is lehetséges. Egyes esetekben a karakterisztikák aszimptotáinak analízise és

fokozatos lebontásuk elvézet a keresett paraméterek $\overset{0}{\hat{p}}$ nulladik közelítő becsléséhez. Más esetekben az a priori információk alapján véletlenszerűen felvett paraméter kombinációkkal Monte-Carlo módszerek adhatják meg a $\overset{0}{\hat{p}}$ nulladik közelítést. Az $F^{*(T)}(\vec{p}, W)$ függvények egyszerű analitikai alakja miatt néha a klasszikus egyenlet megoldó algoritmusok is szolgálhatnak néhány $\overset{0}{\hat{p}}$ nulladik közelítő becslést.

Az interpretáció következő etapjában a szóba jöhető $\overset{0}{\hat{p}}$ nulladik közelítő becslések közötti válogatás, a becslések pontosítása a feladat. Erre a célra újból a $\|B\|$ információs mátrix vizsgálata és a legkisebb négyzetek általánosított elvének illesztési kritériuma nyújthat megoldást.

$\|D(\vec{y}^{(M)})\|$ hiba-mátrix esetén a legkisebb négyzetek elvének illesztési kritériuma a

$$Q = \left\| [\vec{y}^{(M)} - \vec{y}^{(T)}(\overset{0}{\hat{p}})]^{TRP} \right\| \cdot \|D^{-1}(\vec{y}^{(M)})\| \cdot \left\| [\vec{y}^{(M)} - \vec{y}^{(T)}(\overset{0}{\hat{p}})] \right\| = \min.$$

feltétel teljesítését írja elő.

A feladat linearizálása után a minimalizálandó kifejezés:

$$Q = \left\| [\vec{y}^{(M)} - \|A\| \cdot \hat{\vec{\theta}}]^{TRP} \right\| \cdot \|D^{-1}(\vec{y}^{(M)})\| \cdot \left\| \vec{y}^{(M)} - \|A\| \cdot \hat{\vec{\theta}} \right\|,$$

ahol $\vec{y}^{(M)} = \vec{y}^{(M)} - \vec{y}^{(T)}(\overset{0}{\hat{p}})$.

Ez a feltétel differenciálás után a legkisebb négyzetek módszerének úgynevezett lineáris normál egyenleteihez vezet:

$$\left\| \left(\|A^{TRP}\| \cdot \|D^{-1}(\vec{y}^{(M)})\| \cdot \|A\| \right) \cdot \hat{\vec{\theta}} \right\| = \|A^{TRP}\| \cdot \|D^{-1}(\vec{y}^{(M)})\| \cdot \vec{y}^{(M)},$$

vagy rövidebben

$$\|B\| \cdot \hat{\vec{\theta}} = \|A^{TRP}\| \cdot \|D^{-1}(\vec{y}^{(M)})\| \cdot \vec{y}^{(M)},$$

Vegyük észre, hogy a normál egyenletek rendszerének mátrixa a $\|B\|$ információs mátrix.

A $Q = \min.$ feltételt biztosító $\hat{\vec{\theta}}$ paraméter becslés a normál egyenletek rendszerének megoldása.

$$\hat{\vec{\theta}} = \|B^{-1}\| \cdot \|A^{TRP}\| \cdot \|D^{-1}(\vec{y}^{(M)})\| \cdot \vec{y}^{(M)},$$

Egyszerű valószínűségi számítás várható érték képzéssel belátható, hogy a becsült $\hat{\vec{\theta}}$ paraméterek hiba-mátrixa

$$\|D(\hat{\vec{\theta}})\| = \|B^{-1}\|$$

Az így nyert becslés torzítatlan, egyetlen feltétele, hogy az $y_i^{(M)}$ mért mennyiségek véges második momentummal rendelkezzenek. Normális hibaeloszlás esetén $\hat{\vec{\theta}}$ optimum becslés.

Visszatérve az interpretáció számításaihoz, azokat továbbra is célszerű a frekvencia-tartományban folytatni. A legkisebb négyzetek módszerének alkalmazása a frekvencia-tartományban azt jelenti, hogy

$$y_i^{(M)} \equiv F_i^* (\vec{g}^{*(M)}) \quad \text{és} \quad y_i^{(T)}(\vec{p}) \equiv F^{*(T)}(\vec{p}, w_i).$$

Az imént vázolt algoritmust alkalmazva a becslés végeredménye a szóba jöhető néhány \vec{p} nulladik közelítésből kiindulva néhány \vec{p} első közelítő becslés, és ezek hiba-mátrixa $D(\vec{p})$. A hiba-mátrixok determinánsait az entrópia képletbe helyettesítve kiválaszthatók a legerectívebb becslést jelentő \vec{p} első közelítések.

Az interpretáció utolsó fázisa a közelítő becslések végső pontosítása az experimentális tartományban a legkisebb négyzetek elvének általános illesztési kritériuma szerint. A vizsgált y_i mennyiség legyen tehát a $g(v_i)$ experimentális karakterisztika:

$$y_i^{(M)} \equiv g^{(M)}(\vec{x}, v_i) \quad \text{és} \quad y_i^{(T)}(\vec{p}) \equiv g^{(T)}(\vec{p}, v_i).$$

A diszkrét konvolúciók algoritmusát ekkor kell újból használni a $g^{(T)}(\vec{p}, v_i)$ elméleti értékek és az a_{ik} parciális deriváltak meghatározására,

$$g_i^{(T)} \approx \sum_{j=ja}^{jb} F_{i-j}^{(T)} \cdot S_j$$

A normál egyenletek rendszerének felírása után mátrix invertálással adódnak a végeredmények.

A vázolt eljárás végeredménye a keresett \vec{p} paraméter vektor legkisebb négyzetek elve szerinti becslése az experimentális tartományban.

A számítás folyamán a $\|B^{-1}\|$ formájában egyúttal a becsült paraméterek $\|D(\hat{\vec{p}})\|$ hiba mátrixa is kiadódik. A hiba mátrix az interpretáció effektivitásának kvantitatív jellemzője. A $H(\hat{\vec{p}})$ negentrópia, a becsült paraméterek hibái és a paraméterek páronkénti korrelációja a hiba-mátrixból egyszerűen megkapható. A $\hat{\vec{p}}$ paraméter becslés mellett ezek a mennyiségek teszik teljessé a mérésekből kinyerhető információkat.

Az interpretációs stratégia fontos eleme a számítások pontosságának beállítása, különösen a diszkrét konvolúciós algoritmusok esetében. Tapasztalataink szerint nagyon sok számítási munka takarítható meg úgy, hogy a számítások „zajszintjét” (a számítási hibákat) az egyéb előforduló zajok (geológiai zajok és mérési hibák) szintjénél egy-másfél nagyságrenddel kisebbre (azok 20–30-ad részére) állítjuk be.

Végezetül hangsúlyozni kívánjuk, hogy a fentiekben ajánlott interpretációs stratégia nem merev rendszer, hanem rugalmas stratégia, amelyet a konkrét esetekben mindig csak az alapelvek figyelembevételével konkrétan lehet alkalmazni.

A gerjesztett potenciál-jelenségek analitikus vizsgálata*

DANKHÁZI GYULA – VERŐ LÁSZLÓ**

Az utóbbi időben a szakirodalom egyre többet foglalkozik a GP jelalak analízisével. A vizsgálatok célja általában az, hogy a GP mérések során nyerhető információkat – pl. a lecsengő görbe korai és késői szakasza, a frekvencia függvényében ábrázolt impedancia és fázisszögkarakterisztika – milyen módon lehet a gerjeszthető kőzetek térbeli elhelyezkedésének, kiterjedésének, az érc mennyiségi és minőségi jellemzőinek meghatározásánál hasznosítani. Az előadás ismerteti azokat az alapösszefüggéseket, amelyeket az ELGI-ben dolgoztak ki. Abból az alapvető feltételezésből indulunk ki, hogy a kőzetek két csoportra oszthatók elektromos tulajdonságaik szerint, és pedig vezetőkre és szigetelőkre. Ezek is további két csoportra oszthatók, mégpedig tiszta vezetőkre (ilyenek pl. a tökéletes tisztaságú színesfémek) és polarizációs vezetők (ilyenek a szennyezett fémek, elektrolitok, kőzetek stb.), szigetelők esetében pedig vákuumra és dielektrikumra. Ennek megfelelően a kőzetet átjáró áram négy komponensből tevődik össze, egy tiszta vezetőben folyó áramból, egy szennyezett vezetőben, a tiszta vezetést csökkentő polarizációs áramból a vákuumban folyó eltolódási áramból és az eltolódási áramot növelő és a dielektrikum polarizációjából, adódó polarizációs áramból. Az előadásban rámutattunk arra, hogy ez az utóbbi két áram a GP anomália kialakulásánál nem játszik szerepet, mivel a GP jelenséget alapvetően a vezető polarizációs árama okozza. Ebből az elgondolásból kiindulva az előadás ismerteti azokat az elvi megfontolásokat, amelyek segítségével idealizált esetekre, labor-mérésekkel igazolható számszerű összefüggéseket kaptunk.

Az előadás befejezésül ismerteti annak a műszernek a főbb jellemzőit, amellyel a labor- és terepi méréseket végeztük, majd az elméleti úton kapott eredményeket összeveti a kőzetmintákon, illetve terepen kapott mérési eredményekkel, ezenkívül a további kutatásokra vonatkozó megjegyzést tesz.

Работы по методу ВП должны были бы давать более значительный объем информации о геометрических и вещественных характеристиках оруженения. Все же это затрудняется за счет отсутствия обобщенной теории о возникновении явления ВП, но облегчается благодаря повышенному объему информации, получаемой при применении современных электронных устройств и современных методов обработки данных.

К упомянутой теории можно прийти при помощи эмпирических соотношений, основывающихся на полевых и лабораторных исследованиях, но и по пути, разработанному ЭЛГИ. Для упрощенной модели оружененных горных пород найдены основные соотношения, позволяющие получить при помощи двух параметров, зависящих от вещественного состава, полное математическое описание явления ВП для областей как частот, так и времен. Найденные соотношения были подтверждены и количественно, наблюдениями, проведенными в соответствии с условиями идеализации. Теорию необходимо и можно усовершенствовать для интерпретации результатов наблюдений, проводимых при более сложных условиях.

В ЭЛГИ при работах по разработке аппаратуры – как наземной, так и скважинной, – учитываются требования, предъявляемые рассматриваемой теорией.

It would be desirable to obtain from induced potential observations as many informations as possible, concerning geometrical and material characteristics of mineralization. This latter is made difficult by the fact that we do not possess a comprehensive theory of the origin of IP phenomenon, but on the other hand it is made easier through the significantly increasing information content as a result of application of modern electronics and data processing methods.

The theory sought for can be approached by means of empirical connections based on field and laboratory measurements, but also through a procedure applied at the Eötvös Loránd Geophysical Institute. For a simplified model of the ore containing rock we succeeded in obtaining basic connections giving a complete mathematical description of the IP phenomenon by means of two parameters depending on material character, and this for the frequency- and time-domain as well. An expansion of the theory for explaining observations made under more complicated circumstances is necessary and it can be made without major difficulties.

* Elhangzott 1974. októberben a XIX. Szimpóziumon Torunban.

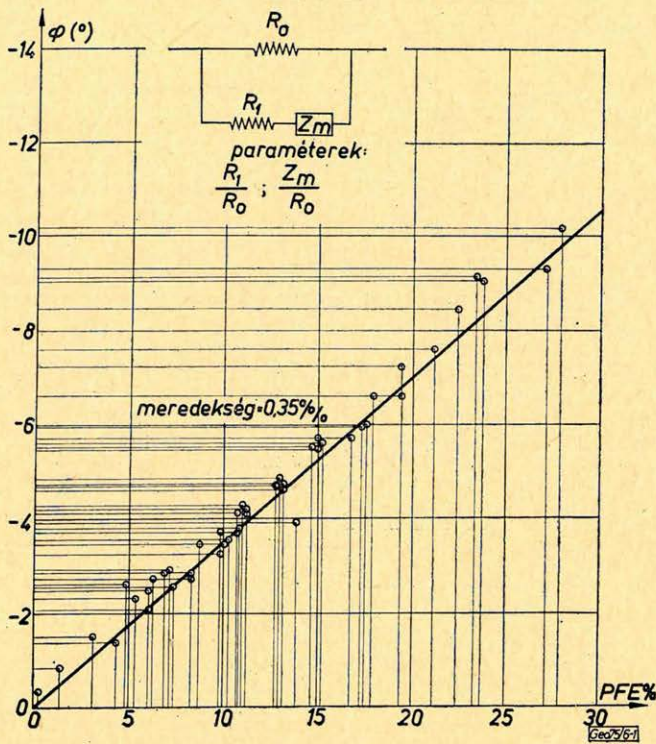
** Dankházi Gyula – Verő László; Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet.

A GP mérések első terepi alkalmazása óta eltelt lassan már három évtizednyi időszakban az értelmezés alapjául szinte kizárólag a különböző, elsődlegesnek is nevezhető paraméterek szolgáltak. Ezeknek nagyságát a mérés folyamán közvetlenül meghatározhatták, és ezen értékek szelvényeken vagy térképeken való ábrázolása legtöbb esetben a feldolgozás befejező lépése is volt. Gyakran ez a módszer is megfelelő eredményeket adott, számos probléma azonban megoldatlan maradt. Kevés információt kaptunk az ércesedés olyan anyagi jellemzőiről mint például: milyen ércetek fordulnak elő és milyen formában, mekkora a koncentráció. Sőt a geometriai jellegű adatok sem határozhatók meg mindig elegendő pontossággal. Természetes, hogy szinte az első terepi mérésekkel egyidőben megindultak az interpretáció tökéletesítésére irányuló törekvések, bár Dieter, Paterson és Grant még néhány évvel ezelőtt is siralmasan kevésnek tartotta az értelmezés érdekében tett erőfeszítéseket. Az adatfeldolgozás korszerű módszerei azóta számos eredményt hoztak, főleg a geometriai adatok pontosabbá tételében. Ennek oka részben az, hogy — analógiák alapján — más hatószámítási módszerek eredményei is átvethetők, de talán ennél is jelentősebb, hogy ezekhez a vizsgálatokhoz nincs szükség a GP jelenség fizikai-kémiai alapjainak ismeretére.

Nyilvánvalóan más a helyzet az anyagi jellemzőkkel. Ahhoz, hogy ilyen másodlagos paramétereket is bevonhassunk az értelmezési folyamatba, két dologra van feltétlenül szükség: olyan mérési adatokra, amelyek tartalmazzák a kívánt információt, valamint elméletileg megalapozott feldolgozási módszerre.

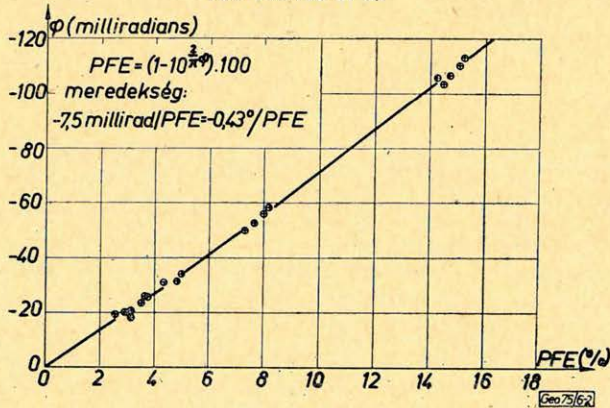
A szokásos GP paraméterekből (PFE , η , M) még semmiféle feldolgozási módszerrel sem lehet az anyagi minőségre következtetni. Ehhez ugyanis a teljes frekvenciaspektrum, vagy a teljes lecsengési görbe ismerete szükséges, mint azt már Grant is megállapította. Ezek viszont két tetszőleges frekvenciához tartozó ellenállásból, illetve egyetlen időponthoz tartozó amplitúdóból, vagy egy integrálközepértékből nem határozhatók meg. Mind a time-, mind a frequency-domain-ben szükség van tehát a mérések információtartalmának növelésére, és ami ezzel jár, a mérőműszerek specifikációs adatainak nagymértékű javítására és a feldolgozási módszerek tökéletesítésére. Ez a kettő szoros kölcsönhatásban van egymással, hiszen a jelenleg használt GP paraméterek a mérőműszer jellemzőitől is függenek.

A frequency-domain mérésekben talán a fázisszög szerepének tisztázása jelenti a legfőbb újdonságot. Ha sikerül a referenciajel problémáját szinkron detektálással vagy rádiós átvittel megoldani, a terepi rutinmérésekre elegendő lehet egyetlen frekvencia használata is. Ezt számos empirikus összefüggés igazolja. Scott, Telford és Collett $-0,31\%$ arányosságot talált a $q_{0,1}$ és a $PFE_{0,1}^1$ értékek között (1. ábra). Elméleti vizsgálataikhoz Madden és Cantwell helyettesítő áramkört vették alapnak, de az áramkör paramétereire más, nagyságrendileg sem azonos értékeket kaptak. Sauck, Zonge és Sumner egy dekádnyi frekvencia-különbségre megállapított összefüggése — megfelelő átalakítás után — szintén $-0,31\%$ értéket ad. Van Voorhis, Nelson és Drake szintén a $PFE_{0,1}^1$ és q összefüggését vizsgálta terepen, és a 2. ábrán látható összefüggést kapta.



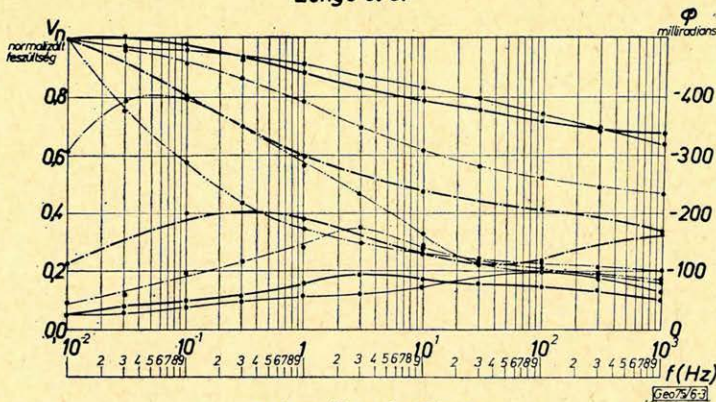
1. ábra Puc. 1. Fig. 1.

Van Voorhis et al.

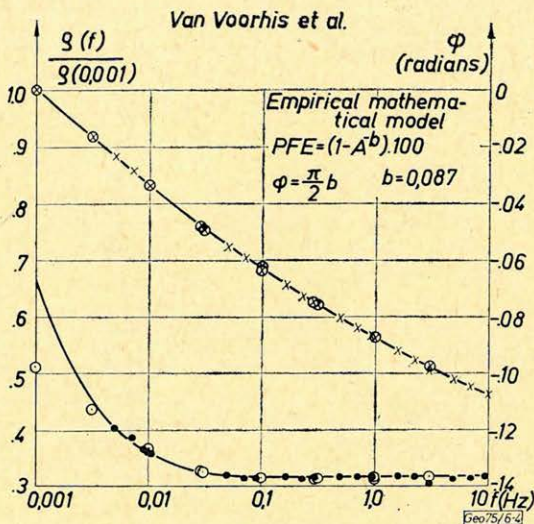


2. ábra Puc. 2. Fig. 2.

A GP jelenség fizikai-kémiai modelljéről sokkal többet árul el a fázisszög-frekvencia, vagy ellenállás-frekvencia összefüggés vizsgálata széles frekvenciatartományban. Zonge, Sauck és Sumner laboratóriumi méréseinek néhány eredménye látható a 3. ábrán. Ezeket a karakterisztikákat igen eltérő kőzettani összetételű mintákon kapták. Van Voorhis, Nelson és Drake eredményei láthatók a 4. ábrán. Az empirikus matematikai modell alacsony frekvencián már



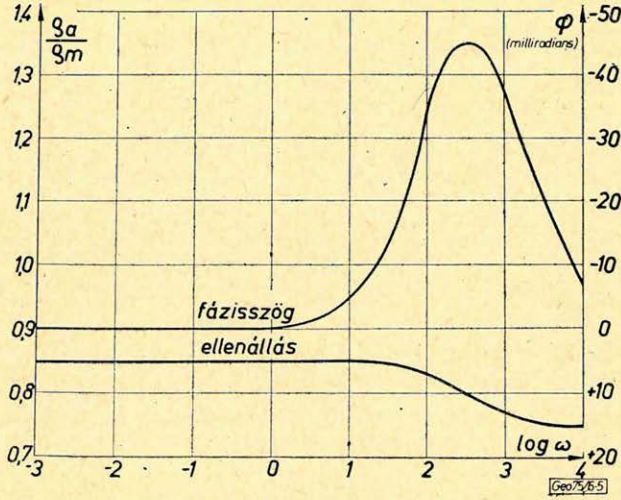
3. ábra Puc. 3. Fig. 3.



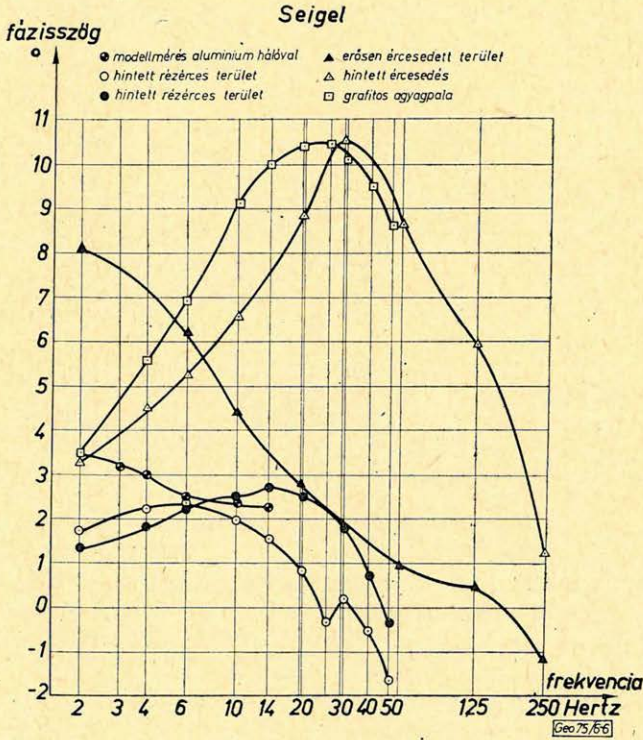
4. ábra Puc. 4. Fig. 4.

nem ad kielégítő eredményt. Ugyanezek a szerzők a *GP* fizikai modelljeként a vezető szemcséket tartalmazó közetmátrix ellenállását megadó Maxwell-féle képlet és a veszteséges kapacitás modell kombinációját veszik fel, és ebből leg-egyszerűbb esetben az 5. ábra ellenállás-frekvencia és fázisszög-frekvencia karakterisztikáit kapták. Seigel a mágneses gerjesztett polarizációs módszerrel vizsgálta a fázisszögnek a frekvenciától való függését. Úgy találta, hogy na-gyon jól vezető testeknél a MIP fázisszög maximuma alacsony frekvenciáknál van, kevésbé vezető testeknél viszont nagyobb frekvenciákon (6. ábra).

A time-domain-ben kétségkívül a lecsengési görbe korai, 10 msec nagyság-rendű késleltetési idővel felvett szakasza és a teljes lecsengési görbe jelalak vizsgálata jelenti a legnagyobb előrelépést. Hutchins — és vele teljesen azonos eljárást követve Phillips és Richards — 15 msec késleltetéssel mért lecsengési görbéket bontott tényezőkre. Úgy találták, hogy a *GP* effektus leírható egy vagy két exponenciális függvényvel, ha a lecsengési görbét már megszabadították az elektromágneses csatolás vagy az áramelektrodák polarizációjának hatá-



5. ábra Puc. 5. Fig. 5.

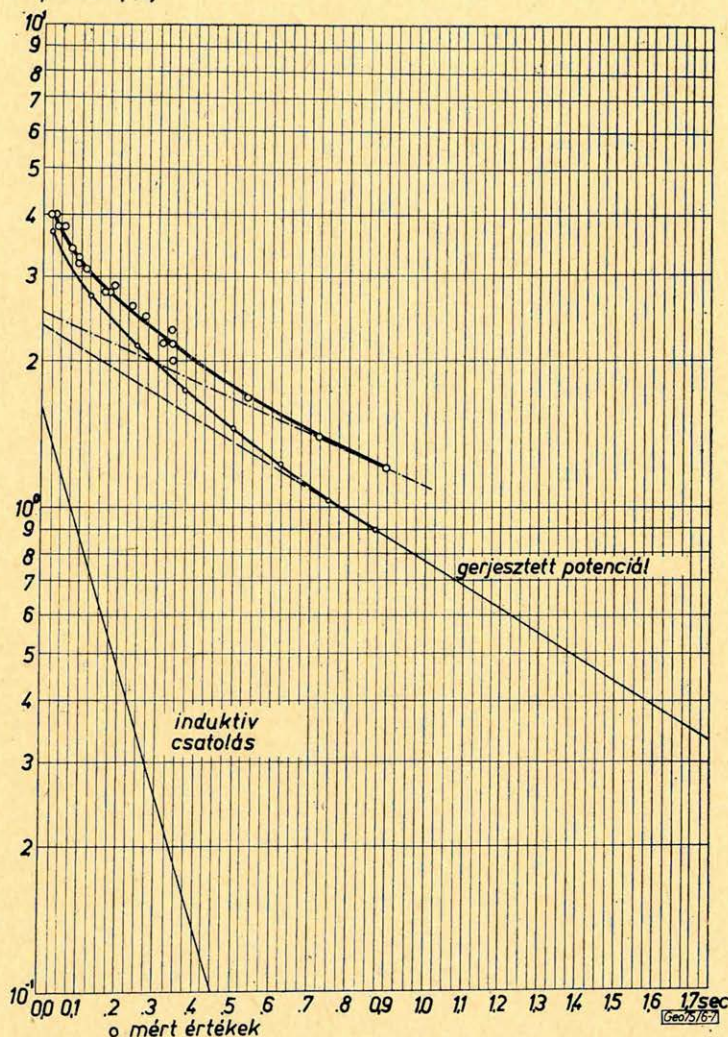


6. ábra Puc. 6. Fig. 6.

sától (7. ábra). A közölt adatok száma még elég kicsiny ahhoz, hogy pontosabb jelalak-jellemzéssel (amplitúdó és időállandó) is kísérletezhessünk.

normalizált
amplitudo (%)

Hutchins



7. ábra

Puc. 7.

Fig. 7.

A korántsem teljes és nem minden célzatosság nélkül összeválogatott eredmények ismertetésének a célja az volt, hogy bebizonyítsuk, az ELGI-ben kidolgozott elmélet nem mond ellent minden tapasztalati ténynek és más úton kapott elméleti eredménynek. Ugyanakkor a legújabb vizsgálatok pontosabb felvilágosítást adnak a torzító hatásokról is, például az ellenállás-inhomogenitások spektrális torzításáról, vagy az áramelektroda polarizációs hatásáról. Ezeket egy általánosságra igényt tartó elmélet nyilván nem veheti figyelembe, ezekről nem adhat számot.

Az előrebecsített mérési adatokból már sejthető, hogy milyen fázisszög-frekvencia, ellenállás-frekvencia karakterisztikát, milyen lecsengési görbe alakot várunk, és az nyilvánvaló, hogy a két, elvileg ekvivalens mérési technika alapösszefüggéseit azonos fizikai modellből kiindulva kell megkapnunk. Meg-

fontolásainkban mindaddig, amíg lehetséges volt, csak elvileg is igazolható tényeket vettünk figyelembe, illetve csak általánosan elfogadott tapasztalati tényekre támaszkodtunk.

A félvezetőktől, anizotróp anyagoktól eltekintve az áramvezetés három módon történhet: vezetőkben az Ohm-törvénynek megfelelően, vákuumban eltolódási áramról beszélünk, szigetelő dielektrikumban pedig egy polarizációs áram is fellép, amely a vákuumbeli áramot a dielektromos állandó arányában megnöveli. Mindhárom áram szerepel a Maxwell-egyenletek következő összefüggésében:

$$\operatorname{rot} \vec{H} = \vec{j} + \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \frac{\partial \vec{P}}{\partial t}, \quad (1)$$

ahol a jelölések a szokásosak és mindent SI mértérendszerben adunk meg. A *GP* mérések frekvencia-tartományában a két differenciális áram elhanyagolható, más szóval a *GP* jelenség a kvázistacionárius Maxwell-egyenletekkel írható le:

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} \vec{H} &= \vec{j}_0 & \operatorname{rot} \vec{E} &= -\mu \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} \\ \operatorname{div} \vec{E} &= 0 & \operatorname{div} \vec{H} &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

Ezek azonban semmiféle utalást sem tartalmaznak a *GP*-re, így az irodalmi és saját tapasztalatunk alapján is arra a következtetésre jutottunk, hogy a fenti Maxwell-egyenletek kiegészítésre szorulnak. Eerre vonatkozó elképzeléseinket a következő modellel szemléltethetjük. Híg elektrolitba szórjunk néhány térfogatszázaléknyi, mikroszkopikus méretű fémreszeléket, és biztosítsuk homogén eloszlását. Mérjük meg az elektrolit fajlagos ellenállását a fémszemcsék bevitelére előtt, majd utána, először egyenárammal, majd növekvő frekvenciájú váltóárammal. Mint közismert, az elektrolit fajlagos ellenállása a fémreszelék bevitelével megnőtt, és a váltóáram frekvenciájának növelésével csökken, majd 10–100 Hz körül már megközelíti a tiszta elektrolit fajlagos ellenállását. A jelenség magyarázata elképzelésünk szerint az, hogy a fémszemcsék körül kialakuló elektródpotenciál potenciálvölgyet alakít ki, amelyet az elektrolit ionjai kitöltenek. A szabad ionok száma csökken, megnő az *elektrolit + fém* rendszer fajlagos ellenállása. Külső, állandó tér hatására a potenciálvölgyek eltorzulnak, váltakozó térben pedig a kötött ionok állandó átrendeződése miatt látszólag megnő a szabad ionok száma, csökken a fajlagos ellenállás. A vezetésben tehát szabad és kötött, elektromos töltéssel rendelkező részecskék is szerepet játszanak, de a *GP* jelenség csak a kötött részecskékhez kapcsolódik. Az (1) egyenletet tehát a következőképpen kell kiegészítenünk:

$$\operatorname{rot} \vec{H} = \vec{j}_0 - \vec{j}_p + \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \frac{\partial \vec{P}}{\partial t}, \quad (3)$$

ahol \vec{j}_0 a teljes, szabad és kötött ionokra is vonatkozó áramsűrűsége, \vec{j}_p pedig a kötött ionok polarizációs áramsűrűsége. A negatív előjel azt fejezi ki, hogy az ionok kötődése révén az áram csökken. Az egyenlet jobb oldalának két utolsó tagját a továbbiakban már elhagyjuk.

A Maxwell-egyenletek ilyen bővítésének elvi helyességét egy korábbi közleményünkben bebizonyítottuk, mikor kimutattuk, hogy a két áram különb-

ségének divergenciája azonosan nulla. Más szavakkal ez azt jelenti, hogy a GP kialakulása és megszűnése sem energiatermeléssel, sem energiavesztéssel nem jár.

Vizsgáljuk meg, sikerült-e a \vec{j}_p polarizációs áram bevezetésével közelebb jutni a GP kvantitatív értelmezéséhez! Az érces közet modellje homogén és izotróp, csak olyan mennyiségű fémszemcsét tartalmaz, hogy az egyes szemcsék potenciálterei nem kerülhetnek kölcsönhatásba. Ha \vec{j} -vel jelöljük a közetben ténylegesen folyó áramot, akkor

$$\vec{j} = \vec{j}_0 - \vec{j}_p. \quad (4)$$

Mindkét oldalt szorozva ϱ_0 -lal, a kötött és szabad ionok összegéhez rendelhető fajlagos ellenállással

$$\varrho_0 \vec{j} = \varrho_0 \vec{j}_0 - \varrho_0 \vec{j}_p, \quad \text{azaz} \quad \vec{D} = \vec{E} - \vec{P}. \quad (5)$$

A dielektrikumokra vonatkozó hasonló egyenlet:

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} - \vec{P} = \varepsilon_0 \varepsilon_d \vec{E}. \quad (6)$$

A hasonlóság így is szembetűnő, de még nyilvánvalóbbá válik, ha a \vec{j}_0 kis értékei mellett általánosan elfogadott érvényű

$$\vec{j}_p = -\kappa_c \vec{j}_0 \quad (7)$$

összefüggést is felhasználjuk, ahol κ_c arányossági tényező. Ezt is beszorozva ϱ_0 -lal:

$$\varrho_0 \vec{j}_p = -\kappa_c \varrho_0 \vec{j}_0, \quad \text{azaz} \quad \vec{P} = -\kappa_c \vec{E}. \quad (8)$$

Ugyanez dielektrikumban:

$$\vec{P} = \varepsilon_0 \kappa_d \vec{E}. \quad (9)$$

ahol κ_d a dielektrikum polarizációs szuszceptibilitása. A két egyenletpár közti hasonlóság szembetűnő. Az előjelbeli eltérés abból adódik, hogy a dielektrikum bevitele a vákuumhoz képest megnövekedett töltésszámot jelent, a fémszemcsék viszont ionokat kötnek le. Eltérés mutatkozik abban is, hogy csak egyik egyenletben szerepel ε_0 . Ez a térorók közötti nagyságrendi eltérésekre, és látszólag dimenzióbeli ellentmondásra is utal. Ez az ellentmondás azonban feloldódik, ha meggondoljuk, hogy teljesen önkényes a dimenzió hozzárendelése ε_0 -hoz, hiszen ε_d -hez, a dielektromos állandóhoz is rendelhetjük ε_0 dimenzióját. Ekkor κ_d is dimenziót kap, ezzel a látszólagos ellentmondás feloldódik. Az analógiák alapján a κ állandót a vezető polarizációs szuszceptibilitásának nevezük, dimenziója F/m .

Az előző összefüggésekből könnyen belátható, hogy

$$\kappa_c = \frac{\varrho - \varrho_0}{\varrho}, \quad \varrho_0 \equiv \varrho \varepsilon_{co}, \quad (10)$$

ahol ϱ (nem ohmm dimenziójú) a szabad ionokhoz rendelhető fajlagos ellenállás. ε_{co} pedig a nem polarizálható vezető dielektromos állandója, dimenziója

F/m , értéke pedig azonosan 1. Ez az egyenlet alakilag teljesen azonos a FE jól ismert definíciójával. Egyszerűsített közetmodellünket tehát két fizikai paraméterrel jellemezhetjük, mégpedig a fajlagos ellenállással és a polarizációs szuszceptibilitással.

A továbbiakban keressünk kvantitatív kapcsolatot ezen paraméterek, a gerjesztő áram és a gerjesztett potenciál között.

Jelöljük a polarizációból eredő töltéssűrűséget δ -val, erre fennáll, hogy

$$\operatorname{div} \vec{P} = -\delta, \quad (11)$$

továbbá a kontinuitási egyenlet is:

$$\frac{\partial \delta}{\partial t} + \operatorname{div} \vec{j}_0 = 0. \quad (12)$$

Egyszerű behelyettesítésekkel a két egyenletből a következő alakú differenciálegyenletet kapjuk:

$$\frac{\partial \delta}{\partial t} + \frac{1}{\varrho_0 \kappa_c} \delta = 0. \quad (13)$$

Ez az egyenlet írja le a polarizációs töltéssűrűség időbeli változását. Ha felhasználunk még két ismert összefüggést, mégpedig

$$\Phi = - \int \int \int_v \frac{\operatorname{div} \vec{P}}{R} dv \quad (14)$$

$$\text{és} \quad \operatorname{div} \vec{j} = 0, \quad (15)$$

ahol φ a potenciál, R pedig a polarizálódó részecskék és a mérési pont közötti távolság, akkor a gerjesztett potenciál időbeli lefutását leíró differenciálegyenlethez jutunk, amely time-domain esetén a következő alakú.

$$\frac{d\Phi}{dt} + \frac{1}{\varrho_0 \kappa_c} \Phi = \frac{I}{4\pi r \varepsilon_c}. \quad (16)$$

Ennek megoldása a gerjesztő áram bekapcsolásakor.

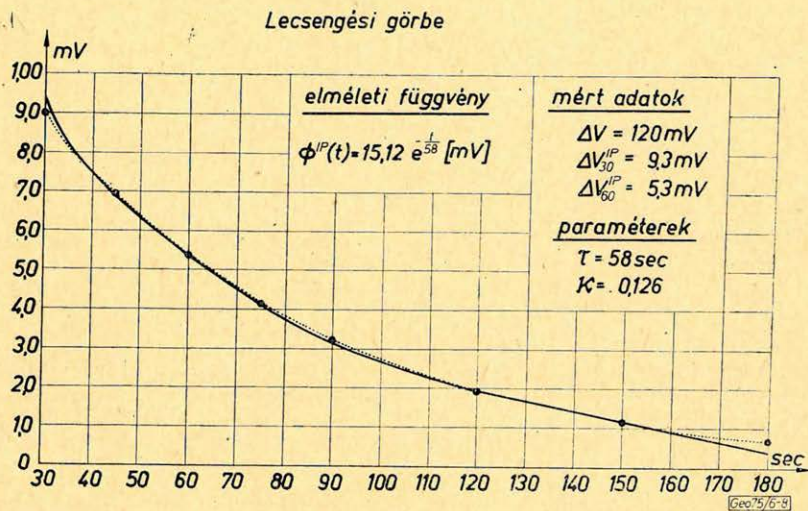
$$\varphi = \frac{I \varrho_0}{4\pi r \varepsilon_c} \left(1 - \kappa_c e^{-\frac{t}{\varrho_0 \kappa_c}} \right). \quad (17)$$

kikapcsolásakor pedig

$$\varphi = \frac{I \varrho_0 \kappa_c}{4\pi r \varepsilon_c} e^{-\frac{t}{\varrho_0 \kappa_c}}. \quad (18)$$

Az egyenletekben r a mérőpont és a gerjesztő pontszerű áramforrás közötti távolság, I a gerjesztő áram, κ_c pedig a vezető polarizációs állandója ($\varepsilon_c = 1 - \kappa_c$). A (17) a tapasztalattal egyezően azt mutatja, hogy polarizálható közeg esetén a potenciál csak hosszabb, mintegy $5\varrho_0\kappa_c$ -nyi idő után veszi fel állandósult értékét, kikapcsoláskor pedig κ_c -ed részére esik, majd a bekapcsolási jelenséggel azonos exponenciális mentén közelíti meg a nulla értéket. A

8. ábrán a laboratóriumi mérési eredményt és az ebből számított paramétereket mutatjuk be.



8. ábra

Puc. 8.

Fig. 8.

A frequency-domain-re vonatkozó differenciálegyenlet:

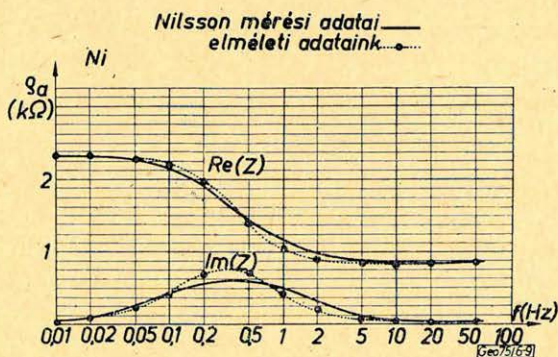
$$\frac{d\Phi}{dt} + \frac{1}{\varrho_0 \kappa_c} = \frac{I\nu}{4\pi r \varepsilon_c} \sin \omega t. \quad (19)$$

Ennek megoldása, ha a bekapcsolásnál fellépő bekapcsolási jelenségektől eltekintünk:

$$\Phi = \frac{I\nu\varrho_0}{4\pi r \varepsilon_c} \left(\frac{1 + \kappa_c^2 \varepsilon_c^2 \varrho_0^2 \omega^2}{1 + \kappa_c^2 \varepsilon_c^2 \varrho_0^2 \omega^2} \right)^{1/2} \sin(\omega t + \varphi), \quad (20)$$

illetve

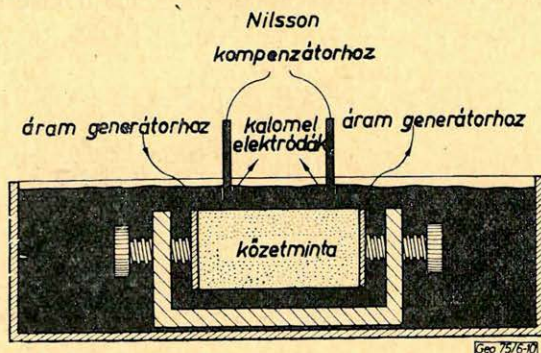
$$\varphi = -\arctg \frac{\varrho_0 \omega \kappa_c^2}{1 + \varepsilon_c \varrho_0^2 \omega^2 \kappa_c^2}. \quad (21)$$



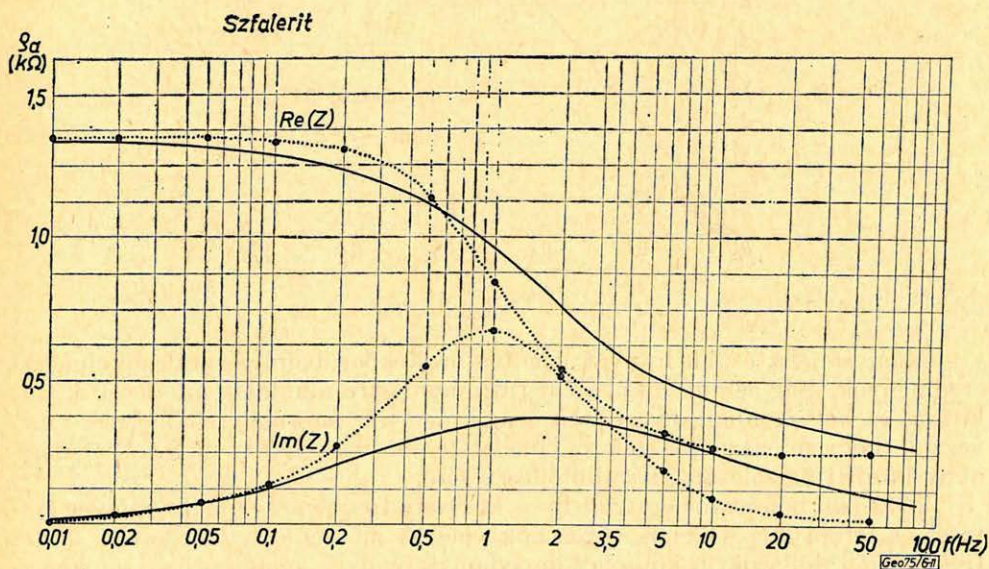
9. ábra Puc. 9. Fig. 9.

Ezen formulák helyességét kvalitatíve a már bemutatott eredmények is igazolják, Nilsen 1971-ben publikált kísérletei azonban már számszerű bizonyítékot is szolgáltatnak, mind az impedancia-frekvencia, mind a fázisszög-frekvencia összefüggés alakjára vonatkozólag. A 9. ábrán Nilsen mérési eredményei, valamint a (20) és (21) képlet alapján számolt elméleti karakterisztikák láthatók.

Ilyen jó egyezés csak az ideális körülmények között végzett méréseknél tapasztalható. Az ideális körülmények Nilsson kísérleteiben két dolgot is jelentettek. Először is azt, hogy a polarizálható test a legegyszerűbb alakzat, egyetlen lemez volt, és jelentette azt is, hogy az egész mérőberendezés geometriája is a legegyszerűbb volt. A kőzetmintákon végzett mérés (10. ábra) mindkét ideális feltételt nélkülözte, így nem lehet egyértelműen eldönteni, hogy az elmélettel csak kvalitatíve összhangban levő eredményeket a kőzetminta összetettebb GP effektusa, vagy csupán a bonyolultabb geometria okozta (11. ábra). Általános problémája ez a kőzetmintákon végzett méréseknek, mivel nincs tisztázva, hogy maga a mérőberendezés mennyiben befolyásolja a mérési eredményeket.



10. ábra Puc. 10. Fig. 10.

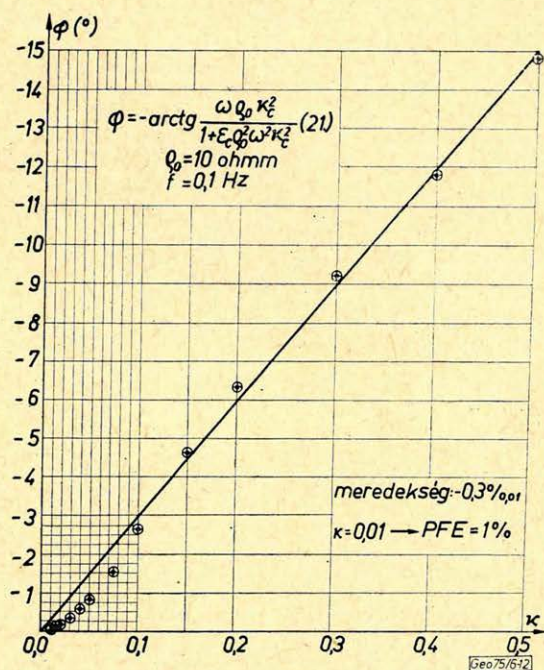


11. ábra Puc. 11. Fig. 11.

A frekvencia-karakterisztikák esetében közvetlenül látható a mérési eredmények és az elmélet egyezése. A fázisszög- PFE , illetve a $\varphi = \kappa_c$ összefüggésre ez már nem igaz, hiszen a (21) képlet nem egyszerű, lineáris kapcsolat. Ha azonban felvesszük φ_0 és ω értékét, κ_c -t pedig változtatjuk, akkor a 12. ábrán látható összefüggést kapjuk. A görbe meredeksége $\sim -0.3^\circ/\%$.

Nilsson már említett, kőzetmintákon végzett mérései, de saját terepi méréseink is azt mutatták, hogy az egyszerű modellhez képest a GP jelenség

(például az ellenállás-frekvencia függvény inflexiós pontja) egy dekáddal magasabb frekvenciákon jelentkezik. Erre utal az is, hogy Scott, Telford és Sumner adataival viszonylag alacsony, $\varrho_0 = 10 \text{ ohmm}$ mellett kaptunk szám-szerű egyezést. Az eltérés magyarázatául azt tételezzük fel, hogy az ércszem-csék potenciálterei közt kölcsönhatás lép fel. Az elmélet továbbfejlesztésével ezt is le kell írunk elméletileg, majd kísérletileg igazolnunk kell.



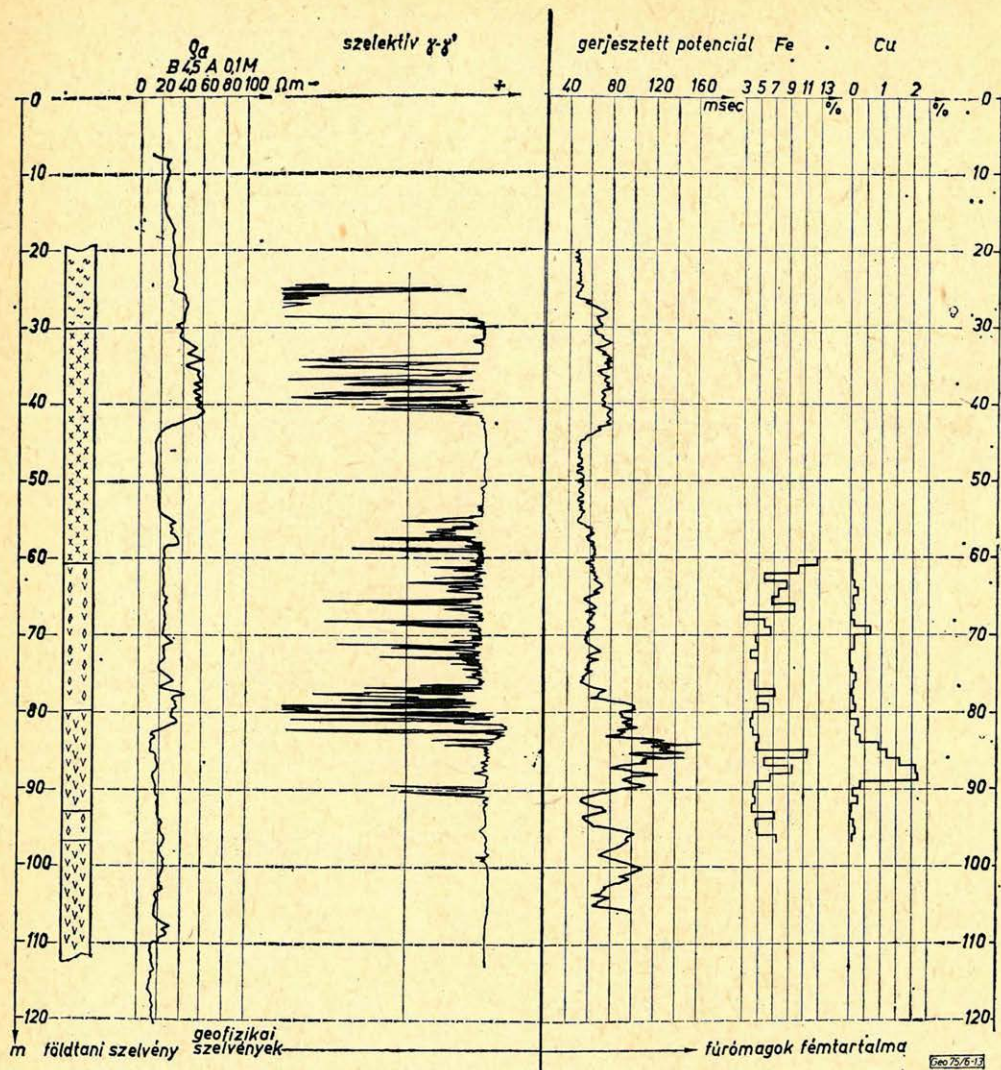
12. ábra – Puc 12. – Fig 12.

Műszerfejlesztésünk irányát jelentős mértékben befolyásolták az elméleti eredmények. Bár célunk elsősorban rutinmérésekre alkalmas műszerek kialakítása, ezeket azonban olyan pontosságúra, olyan paraméterek mérésére tervezzük, hogy felhasználhassuk az elmélet terepi, vagy laboratóriumi körülmények közötti igazolására, továbbfejlesztésére.

1973-ban befejeztük egy 200 W-os kísérleti frequency-domain műszer építését és terepi méréseket is végeztünk vele. A műszer 0,1, 0,5, 2,0 és 10 Hz frekvencián dolgozik, a komplex impedancia reális és imaginárius komponenseit méri.

Ugyancsak 1973-ban fejeztük be egy time-domain karottázsműszer építését. Elektronikus megoldással gondoskodtunk a mérés automatizálásáról, így folytonos szelvényt tudunk felvenni vele. Több fúrásban is kipróbáltuk, a 13. ábrán egy érckutató fúrásban felvett GP szelvényt láthatunk az ellenállás és szelektív $\gamma - \gamma$, valamint ércföldtani szelvénnel együtt. Jól látható, hogy a GP szelvény milyen határozottan detektálja az érces képződményeket.

A felszíni és karottázs műszereket azonos műföldön hitelesítjük polarizációs szuszeptibilitásra (κ_c), így a fúrólyukbeli mérések igen sok hasznos információt szolgáltatnak a felszíni mérések számára is.



13. ábra - Puc 13. - Fig 13.

Mint az előadásból, de gyakorlati tevékenységünkől is kiderül, azoknak a véleményével értünk egyet, akik feltétlenül szükségesnek tartják a szélessávú frekvenciaspektrum, vagy a lecsengési görbe minél nagyobb intervallumának mérését. Ezen adatok birtokában a legegyszerűbb esetben már következtetni tudunk a ható anyagi minőségére. Igyekezünk hasonló megoldást találni bonyolultabb, a valóságot jobban megközelítő modellekre is, de tudjuk, hogy ez a GP méréseket befolyásoló igen sok tényező miatt nehéz feladat lesz.

IRODALOM

- [1] Dankházi Gy.: Theoretical aspects of the induced polarization (Geofizikai Közlemények, XXI. 1-4. 59-79.)
- [2] Dieter K., Paterson N. R., Grant F. S.: IP and resistivity type curves for three-dimensional bodies (Geophysics, XXXIV. 4. 615-632)

- [3] *Grant F. S.*: On the need for measuring IP decay curves in situ (Preprint)
- [4] *Hutchins, R. W.*: A new induced polarization instrument (Preprint)
- [5] *Nilsson B.*: A new combined resistivity- and induced polarization instrument and a new theory of the induced polarization phenomenon (Geoexploration IX. 1. 35–34)
- [6] *Phillips W. J., Richards W. E.*: A comparison of transient decay curves obtained with different electrode arrays and configurations over a mineralized zone (Geophysical Prospecting XXII. 1. 22–53)
- [7] *Scott H. J., Telford W., Collett L. S.*: IP field phase measurements (Preprint) 41st Annual International SEG Meeting, Houston.
- [8] *Seigel, H. O.*: The magnetic induced polarization (MIP) method (Geophysics, XXXIX. 3. 321–339.)
- [9] *Van Voorhis G. D., Nelson P. H., Drake T. L.*: Complex resistivity spectra of porphyry copper mineralization (Geophysics XXXVIII. 1. 49–60.)
- [10] *Zonge K. L., Sauck W. A., Sumner J. S.*: Comparison of time, frequency and phase measurements in induced polarization (Geophysical Prospecting XX. 3. 626–648.)

EGYESÜLETI HÍREK

SZÉNÁS GYÖRGY

1921–1974.

1974. év végén fiatalon, távozott sorainkból Szénás György, a Magyar Geofizikusok Egyesülete tagja, az Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet főgeológusa.

Szénás György kiváló geológus és geofizikus volt, kedvvel és hozzáértéssel olvasta a hazai és szinte az összes külföldi szakirodalmat. Doktori disszertációjában rámutatott a geofizikai kutatásban rejlő lehetőségekre, és az addigi földtani és geofizikai eredményeket felhasználva, tisztázta hazánk geofizikai térképezésének földtani alapjait. Szándékában volt az újabb geofizikai és földtani kutatások, valamint az új tektonikai szemléletek figyelembevételével korszerű egyetemi geológiai tankönyvet írni, amelynek vázlatát már el is készítette.

Kiváló könnyed stílusa, nagy nyelvismerete, rutinos szerkesztővé tette és az Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet kiadványainak szerkesztésében múlhatatlan érdemeket szerzett.

Munkásságát jellemzi, hogy a Kárpát-medencéről írt monográfiája szinte az egész földrész szakembereinek érdeklődését felkeltette.

Hosszabb időn át dolgozott Kínában, előadott a magyar egyetemeken kívül a montreáli egyetemen egy évig meghívott tanárként. Nagy érdemeket szerzett a modern geofizikai-geológiai szemlélet kialakításában. Korai halála egy alkotó élet teljében levő munkatársunk munkája végére tett pontot.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>И. Барат — Й. Тока:</i> Отмечается 25-венгерско-советского научно-технического сотрудничества	1
<i>Я. Чокаш:</i> Выделение тектонических нарушений угленосной толщи электроразведочными методами в горных выработках	7
<i>П. Шалат — Д. Драхом:</i> Стратегия интерпретации наземных зондирования, основывающаяся на теории информации и на теории линейных систем	14
<i>Дж. Данкхаз — Л. Верё:</i> Аналитическое изучение явлений возбужденной поляризации	27
Обзор журналов	13
Новости в Обществе Венгерских Геофизиков	40

CONTENTS

<i>I. Baráth — J. Tóka:</i> 25th Anniversary of the Hungarian — Soviet Scientific — Technical Cooperation	1
<i>J. Csókás:</i> Detection of Tectonic Disturbances Associated with Coal Bodies by Geoelectrical Measurements in Mine Drifts	7
<i>P. Salát — D. Drahos:</i> Interpretation strategy of surface and borehole electromagnetic soundings based on information theory and the theory of linear systems	14
<i>Gy. Dankházi — L. Verő:</i> Analytic investigation of potential phenomena	27
Review of papers	13
NEWS ABOUT THE ASSOCIATION	40

